

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA:**

**INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación técnico previo a la obtención del título de:**

**INGENIEROS MECÁNICOS**

**TEMA:**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE CONEXIONES  
VIGA-COLUMNA RÍGIDAS SOMETIDAS A FLEXIÓN CON EL EMPLEO DE  
ELEMENTOS FINITOS**

**AUTORES:**

**JOHN STALIN BAUTISTA SILVA**

**BRYAN PATRICIO CHÁVEZ PINEDA**

**TUTORA:**

**ING. NANCY VERÓNICA MORENO DIAGO**

**QUITO, AGOSTO 2021**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTORES**

Nosotros, John Stalin Bautista Silva y Bryan Patricio Chávez Pineda, con documentos de identificación N° 1723432017 y N° 1726523283, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud que somos autores del trabajo de titulación intitulado: **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE CONEXIONES VIGA-COLUMNA RÍGIDAS SOMETIDAS A FLEXIÓN CON EL EMPLEO DE ELEMENTOS FINITOS**, mismo que se ha desarrollado para optar por el título de Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, agosto del 2021



---

John Stalin Bautista Silva

C.I.: 1723432017



---

Bryan Patricio Chávez Pineda

C.I.: 1726523283

## **DECLARATORIA DE COAUTORIA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE CONEXIONES VIGA-COLUMNA RÍGIDAS SOMETIDAS A FLEXIÓN CON EL EMPLEO DE ELEMENTOS FINITOS, realizado por John Stalin Bautista Silva y Bryan Patricio Chávez Pineda, obteniendo un producto que cumple con los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, agosto del 2021



---

Nancy Verónica Moreno Diago

C.I.: 1758355307

## **DEDICATORIA**

El esfuerzo, constancia a lo largo de la carrera y este proyecto quiero dedicárselo, primero, a mis padres Ana Silva y Ramiro Bautista, ya que sin el apoyo de ellos este sueño no sería posible; a mi hermana Yadira Bautista por ser un gran ejemplo que seguir y a mi sobrino Sebastián Muñoz.

A mis familiares, que han aportado de una u otra manera en mi formación personal y profesional a lo largo de mi vida; además de mis amigos que han sido partícipes de esta grata experiencia académica.

*“Per Aspera Ad Astra”*

***John Bautista***

El presente proyecto lo dedico a mis padres queridos, a mi madre Yolanda Pineda y a mi padre Luis Chávez quienes estuvieron apoyándome, incondicionalmente, dándome aliento para poder seguir adelante y cumplir mi meta en todo momento, supe valorar el sacrificio que depositaron en mi persona y poder llegar hasta el final de mi carrera profesional y cumplir un sueño más; también a mi hermana, cuñado y sobrino quienes de una u otra forma me ayudaron en el transcurso de la carrera universitaria de igual forma una persona muy especial Samantha que estuvo siempre apoyándome en mis últimos momentos de carrera.

A todos mis amigos, futuros colegas e ingenieros que me ayudaron de una manera desinteresada, gracias infinitas por toda su ayuda y buena voluntad.

***Bryan Chávez***

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi familia por su apoyo incondicional en todo momento a lo largo de mi vida ya que han sido un aliciente para poder enfrentar cada reto. Agradezco a mis familiares y conocidos que han influido directa e indirectamente en mi formación académica brindado sus consejos y sobre todo su experiencia.

Agradezco a Mikaela por acompañarme desde el inicio de este sueño y estar a mi lado en los momentos más difíciles, a mis amigos que siempre han estado a mi lado desde mis inicios y creyeron en mí.

Agradezco a mi tutora, Ingeniera Nancy Moreno, que ha sido una extraordinaria docente y a dirigido a cabalidad este proyecto.

***John Bautista***

Agradezco a mi familia por su apoyo a lo largo de mi carrera profesional y vida, gracias a ellos se logró enfrentar todos los obstáculos que se han presentado en este camino, a mis amigos, John y compañeros.

Agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana, a todos sus docentes que siempre nos brindaron su sabiduría y consejos para formarnos como buenos profesionales, ingenieros y excelentes personas.

A nuestra tutora, la Ingeniera Nancy Moreno quien, con su ayuda logramos concluir un proyecto de calidad, fue un gran aporte para el rápido desarrollo de este proyecto.

***Bryan Chávez***

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTORES .....	i
DECLARATORIA DE COAUTORIA DEL DOCENTE TUTOR.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xiv
ANTECEDENTES.....	15
Planteamiento del problema.....	15
Justificación.....	15
Objetivo General .....	15
Objetivos específicos .....	15
CAPÍTULO I.....	16
GENERALIDADES .....	16
1.1 El acero.....	16
1.2 El acero como material estructural.....	16
1.3 Características del acero estructural A-36.....	17
1.4 Propiedades del acero A-36 .....	18
1.5 Perfiles laminados en frío.....	18
1.6 Perfiles laminados en caliente .....	19
1.7 Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015.....	21
1.7.1 Capítulo cargas (no sísmicas) - NEC-SE-CG .....	21
1.7.2 Capítulo cargas sísmicas NEC-SE-DS.....	22
1.7.3 Capítulo estructuras de acero - NEC-SE-AC .....	22
1.8 Pórticos especiales a momento.....	24
1.9 Nomenclatura típica de la conexión viga-columna.....	25

1.10	Localización de las juntas plásticas en la viga .....	25
1.10.1	Momento máximo probable en la rótula plástica .....	26
1.10.2	Máximo corte en la rótula plástica .....	26
1.11	Criterio columna fuerte viga débil .....	27
1.12	Diseño de la placa de sujeción en la unión viga - columna .....	28
1.13	Limitaciones de las columnas y vigas .....	30
1.14	Tipos de cargas.....	30
1.14.1	Cargas vivas .....	30
1.14.2	Cargas muertas .....	30
1.14.3	Cargas accidentales .....	30
1.14.4	Cargas sísmicas .....	30
1.15	Cargas combinadas.....	31
1.16	Métodos de diseño.....	31
CAPÍTULO II .....		32
DISEÑO Y MODELACION DE LA ESTRUCTURA .....		32
2.1	Descripción de la edificación .....	32
2.2	Determinación de las de cargas de diseño.....	33
2.2.1	Cargas vivas .....	34
2.2.2	Cargas muertas .....	34
2.2.3	Cargas accidentales .....	35
2.2.4	Factores de diseño sismorresistente para la estructura considerada.....	35
2.2.4.1	Zonificación sísmica y factor de zona Z .....	35
2.2.4.2	Tipos de perfiles de suelo para el diseño sísmico .....	36
2.2.4.3	Tipo y factores de suelo $F_a$ , $F_d$ y $F_s$ .....	37
2.2.4.4	Espectros elásticos de diseño .....	39
2.2.4.5	Cortante basal de diseño.....	41
2.2.4.6	Categoría de edificio y coeficiente de importancia I .....	41
2.2.4.7	Configuración de planta y elevación.....	42
2.2.4.8	Coeficiente de reducción sísmico.....	42

2.2.4.9 Niveles de amenaza sísmica.....	43
2.2.4.10 Cálculo del espectro sísmico.....	44
2.3 Combinación de cargas .....	46
2.4 Definición de perfil .....	47
2.4.1 Columna .....	47
2.4.2 Viga.....	48
2.4.3 Losa.....	49
2.5 Ratio y deformación de los pórticos.....	49
2.6 Conexión interna y externa más desfavorables.....	50
CAPÍTULO III.....	52
DISEÑO DE LA CONEXIÓN.....	52
3.1 Diseño de la conexión soldada a momento WUF-W .....	52
3.2 Límites de la precalificación de la AISC 358 .....	53
3.2.1 Limitaciones de viga .....	53
3.2.1.1 Verificación respecto al ancho, espesor determinado por la AISC 360-16. .	53
3.2.2 Limitaciones de la columna .....	54
3.2.2.1 Verificación respecto al ancho, espesor determinado por la AISC 360-16. .	54
3.3 Comprobación de la resistencia del material que conforma el nudo a las solicitaciones de esfuerzos a la que es sometido.....	55
3.4 Cálculo del momento máximo probable en viga.....	55
3.5 Carga de la columna.....	55
3.6 Carga de la Viga.....	56
3.7 Cálculo del criterio de Columna fuerte – viga débil. ....	56
3.8 Procedimiento de diseño .....	58
3.8.1 Dimensiones de la placa de conexión entre la viga y columna y de soldadura.	58
3.9 Soldadura.....	59
3.9.1 Cálculo de la soldadura de filete, entre la placa y patín de la columna. ....	61
CAPÍTULO IV.....	64
SIMULACIÓN Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS EN EL SOFTWARE IDEA STATICA .....	64
4.1 Introducción y definición del software Idea StatiCa versión 21.0.2.1036 .....	64
4.2 Importación de datos .....	64
4.3 Diseño de conexión.....	66



4.3.1	Placa de sujeción.....	67
4.3.2	Posicionamiento de Viga-Columna.....	67
4.3.3	Agujeros de soldadura.....	68
4.3.4	Parametrización de soldadura .....	68
4.3.5	Conexión interna y de borde .....	69
4.4	Verificación de parámetros .....	69
4.5	Informe de resultados del análisis de la conexión.....	70
4.6	Resultados finales del análisis de las conexiones .....	71
4.6.1	Verificación general.....	71
4.6.2	Verificación de la deformación.....	74
4.6.3	Tensión equivalente .....	74
4.6.4	Deformación plástica .....	76
4.6.5	Pandeo en viga y columna.....	77
4.6.6	Configuración de la norma.....	78
4.7	Resumen de resultados.....	79
4.8	Evaluación del costo y tiempo en la elaboración de la conexión.....	80
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	81
	Conclusiones .....	81
	Recomendaciones.....	82
	REFERENCIAS.....	83
	ANEXOS.....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Perfiles laminados en frio .....	18
<b>Figura 2.</b> Sección W .....	19
<b>Figura 3.</b> Sección S .....	19
<b>Figura 4.</b> Ángulo de lados desiguales. ....	19
<b>Figura 5.</b> Ángulo de lados iguales.....	20
<b>Figura 6.</b> Sección C.....	20
<b>Figura 7.</b> Sección WT .....	20
<b>Figura 8.</b> Esquema conceptual de la NEC-SE-CG.....	21
<b>Figura 9.</b> Esquema del diseño basado en fuerzas (DBF) . ....	22
<b>Figura 10.</b> Esquema conceptual de análisis de la NEC-SE-AC .....	23
<b>Figura 11.</b> Zonas en las que se esperan deformaciones inelásticas en un PEM .....	24
<b>Figura 12.</b> Sistema de pórticos especiales a momento .....	25
<b>Figura 13.</b> Diagrama de cuerpo libre de la viga .....	26
<b>Figura 14.</b> Determinación de $M_{pv}$ para una columna interior .....	28
<b>Figura 15.</b> Detalles en la parte superior e inferior de la conexión de corte de placa única. ....	29
<b>Figura 16.</b> Vista isométrica de la estructura metálica. ....	32
<b>Figura 17.</b> Vista frontal y lateral de la estructura metálica. ....	33
<b>Figura 18.</b> Vista superior de la estructura metálica.....	33
<b>Figura 19</b> Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z. ....	36
<b>Figura 20.</b> Espectro elástico de diseño sísmico .....	39
<b>Figura 21.</b> Grafico del espectro en el software Excel. ....	45
<b>Figura 22.</b> Espectro cargado en el programa Staad Pro. ....	46
<b>Figura 23.</b> Combinaciones de cargas en el programa Staad Pro.....	46
<b>Figura 24.</b> Perfil HEB 360. ....	47
<b>Figura 25.</b> Perfil IPE 500. ....	48
<b>Figura 26</b> Asignación de los perfiles en el programa Staad Pro. ....	49
<b>Figura 27</b> Detalle nova losa 55 . ....	49
<b>Figura 28</b> Ratio de los elementos principales y secundarios .....	50
<b>Figura 29.</b> Pórtico C más desfavorables para la conexión externa, Staad Pro. ....	50
<b>Figura 30</b> Pórtico B más desfavorables para la conexión interna, Staad Pro.....	51
<b>Figura 31</b> Conexión a momento WUF-W .....	52
<b>Figura 32.</b> Detalles en las partes superior e inferior de la conexión a cortante con placa simple.....	58
<b>Figura 33</b> Planos de la placa de sujeción. ....	59
<b>Figura 34.</b> Detalle de la soldadura en la conexión. ....	61
<b>Figura 35.</b> Proceso de importación de datos del software Staad Pro al software Idea StatiCa. ....	64
<b>Figura 36.</b> Pantalla del Software Idea StatiCa de datos Importados del software Staad Pro. ....	65
<b>Figura 37.</b> Selección de cargas para el software Idea StatiCa. ....	65
<b>Figura 38.</b> Importación de cargas y combinaciones al software Idea StatiCa. ....	66

<b>Figura 39.</b> Conexión interna e externa en el software Idea StatiCa. ....	66
<b>Figura 40.</b> Configuración de la placa de sujeción y soldadura de ella en el software Idea StatiCa. ....	67
<b>Figura 41.</b> Posicionamiento para la viga y columna en el software Idea StatiCa. ...	67
<b>Figura 42.</b> Diseño de los agujeros de soldadura en el programa Idea StatiCa. ....	68
<b>Figura 43.</b> Parametrización de soldadura de la placa de sujeción en el software Idea StatiCa. ....	68
<b>Figura 44.</b> Parametrización de la soldadura entre viga y columna en el software Idea StatiCa. ....	69
<b>Figura 45.</b> Conexión interna y externa terminadas en el Software Idea StatiCa. ....	69
<b>Figura 46.</b> Verificación de parámetros en el software Idea StatiCa. ....	70
<b>Figura 47.</b> Reporte del informa en el software Idea StatiCa. ....	70
<b>Figura 48.</b> Verificación general del software Idea StatiCa. ....	71
<b>Figura 49.</b> Verificación de todos los elementos de la conexión dado por el software Idea StatiCa. ....	71
<b>Figura 50.</b> Verificación de soldaduras de la conexión externa en el software Idea StatiCa. ....	72
<b>Figura 51</b> Verificación de soldaduras de la conexión interna en el software Idea StatiCa. ....	73
<b>Figura 52.</b> Verificación de pandeo en el software Idea StatiCa. ....	73
<b>Figura 53.</b> Verificación de la deformación de la conexión interna y externa, software Idea StatiCa. ....	74
<b>Figura 54.</b> Tensión equivalente de la conexión externa en el software Idea StatiCa. ....	75
<b>Figura 55.</b> Tensión equivalente de la conexión interna en el software Idea StatiCa. ....	76
<b>Figura 56.</b> Deformación plástica de la conexión interna y externa en el software Idea StatiCa. ....	77
<b>Figura 57.</b> Pandeo de la conexión interna en el software Idea StatiCa. ....	77
<b>Figura 58.</b> Pandeo de la conexión externa en el software Idea StatiCa. ....	78
<b>Figura 59.</b> Configuración de la norma software Idea StatiCa. ....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Detalle Cargas vivas.....	34
<b>Tabla 2.</b> Detalle del nivel 1 al 5, cargas muertas.....	34
<b>Tabla 3.</b> Detalle del nivel 6 cargas muertas. ....	35
<b>Tabla 4.</b> Valores del factor Z para zonas sísmica .....	36
<b>Tabla 5.</b> Tipo de perfil de suelo .....	37
<b>Tabla 6.</b> Factor de suelo $F_a$ , zona sísmica $Z=V$ .....	37
<b>Tabla 7.</b> Factor de suelo $F_d$ , zona sísmica $Z=V$ .....	37
<b>Tabla 8.</b> Factor de suelo $F_s$ , zona sísmica $Z=V$ .....	38
<b>Tabla 9.</b> Valores para $\eta$ con respecto a las regiones del Ecuador . ....	40
<b>Tabla 10.</b> Tipo de estructura.....	40
<b>Tabla 11</b> Importancia de la estructura, tipo de uso . ....	41
<b>Tabla 12.</b> Configuración de planta y elevación .....	42
<b>Tabla 13.</b> Distribución vertical de fuerza sísmica lateral . ....	43
<b>Tabla 14.</b> Nivel de amenaza sísmica .....	43
<b>Tabla 15.</b> Valores para el cálculo de espectro.....	44
<b>Tabla 16.</b> Valores del espectro. ....	45
<b>Tabla 17.</b> Características del perfil HEB 360 .....	47
<b>Tabla 18.</b> Características del perfil IPE 500 .....	48
<b>Tabla 19.</b> Resistencia de juntas disponible soldadas.....	60
<b>Tabla 20.</b> Tamaño mínimo de soldadura de filete AISC, 360-16 . ....	60
<b>Tabla 21.</b> Disposición de la AWS para metales de aporte . ....	61
<b>Tabla 22.</b> Resistencia disponible de juntas soldadas .....	63
<b>Tabla 23.</b> Resultados de la conexión interna.....	79
<b>Tabla 24.</b> Resultados de la conexión externa. ....	79
<b>Tabla 1.</b> Tiempo empleado en la elaboración de la conexión.....	80

## **RESUMEN**

El presente proyecto tiene como finalidad presentar un diseño de conexión rígida viga-columna interna y externa bajo la normativa vigente NEC-2014 Y AISC 360-16, que resistan las cargas vivas, permanentes y accidentales de una estructura de 6 niveles y 5 tramos. Una vez realizado los cálculos teóricos de las cargas actuantes, se procede a la simulación de la edificación que tiene como objetivo obtener las fuerzas y momentos actuantes en cada nodo de la estructura usando la herramienta informática Staad Pro. Para la simulación por elementos finitos de la conexión interna y externa se utilizó el software Idea StatiCa para la importación de los datos de diseño, cargas y momentos, para crear la soldadura diseñada teóricamente y lograr un análisis de elementos finitos. La conexión rígida consta de una placa sujeción soldada al peralte de la viga y al patín de la columna además se refuerza la conexión soldando los patines superior e inferior de la viga a la columna. La conexión que más sufre es la interna ya que al estar en el primer nivel sufre el peso de la estructura además del sismo en la combinación de carga 3, en ambas conexiones la tensión equivalente tiene un valor máximo de 148.7 MPa lo cual representa el 60% de la tensión última equivalente del acero estructural A-36 que es 248.3 MPa, esto evidencia que el diseño de la conexión rígida es fiable para no perder la rigidez y estabilidad de la estructura.

Palabras clave: conexión, viga, columna, diseño, cargas, simulación.

## **ABSTRACT**

The purpose of this project is the design of a rigid internal and external beam-column connection under the current NEC-2014 and AISC 360-16 standards, which must resist the live, permanent, and accidental loads of a structure of 6 levels and 5 sections. Once the theoretical calculations of the acting loads were performed, the simulation of the building was carried out to obtain the forces and moments in each node of the structure, using computer tools such as Staad Pro. For the finite element simulation of the internal and external connection, the Idea StatiCa software was used, which allows us to import the design data, loads and moments, as well as to create the theoretically designed weld and achieve a finite element analysis. The rigid connection consists of a clamping plate welded to the web of the beam and to the column flange and the connection is reinforced by welding the upper and lower flanges of the beam to the column. The connection that suffers the most is the internal one since it is at the first level and suffers the weight of the structure in addition to the earthquake in load combination 3, in both connections the equivalent stress has a maximum value of 148.7 MPa which represents 60% of the equivalent ultimate stress of the structural steel A-36 which is 248.3 MPa, this shows that the design of the rigid connection is reliable in order not to lose the stiffness and stability of the structure.

**Keywords:** connection, beam, colum, design, loads, simulation.

## INTRODUCCIÓN

En el Ecuador el tema de construcción se ha ido estudiando y evolucionando en las últimas décadas, ya que, en el país se han producido varios sismos por lo cual es un tema para preocupar y así siempre actualizar los códigos y normas ecuatorianas y lograr así un mejor estudio de diseño y construcción de estructuras metálicas en todas las zonas sísmicas que posee el país. Para poder crear nuevas y modernas estructuras con el afán de mejorar el diseño y análisis de estructuras de acero con mayor resistencia y durabilidad en el país.

Los análisis de elementos finitos son de gran ayuda para diseñar las estructuras de acero, el desarrollo de nueva tecnología facilita el conocimiento para realizar un análisis con informes detallados y así poder analizar los posibles errores de diseño. Los esfuerzos que se puede generar mediante este método logran obtener respuestas deseadas para un proyecto finalizado de un diseño estructural de acero.

Se necesita un diseño confiable que tengan un desempeño ante fuerzas o acciones sísmicas es necesario conocer las normativas AISC 358, donde se encontrara diferentes conexiones a momento recomendadas y así de igual manera respetar la norma de diseño AISC 360-16, donde se deben cumplir los requerimientos de diseño para la construcción de conexiones y verificar la conexión a momento seleccionada WUF-W, la que consisten en patín soldado sin refuerzo y peralte soldado, la cual se llega a diseñar varias veces por su bajo costo de elaboración y simplicidad de diseño que puede llegar a hacer este tipo de conexión.

## **ANTECEDENTES**

### **Planteamiento del problema**

En la actualidad al momento de la construcción de estructuras metálicas no se prioriza un análisis y diseño estructural adecuado por lo cual las edificaciones pueden llegar a sufrir daños o incluso colapsar, es por esto que evaluar el comportamiento de las conexiones es de suma importancia para conocer las cargas y momentos que actúan sobre la misma, para tomar las mejores decisiones necesarias para un correcto diseño y construcción cumpliendo la normativa vigente.

### **Justificación**

Este proyecto se realiza con fin de evaluar el comportamiento de la conexión rígida sometida a flexión mediante ensayos de elementos finitos, de esta manera se ha variado los distintos tipos de perfiles de la conexión viga-columna que se podrían utilizar, para así obtener una conexión que cumpla con la normativa vigente y parámetros de conexión además de ser capaz de soportar todo tipo de cargas que se puedan presentar en la estructura metálica y así hacer el diseño y análisis correcto para una conexión de estructura metálica.

### **Objetivo General**

- Evaluar el comportamiento estructural de conexiones viga-columna rígidas sometidas a flexión con el empleo de elementos finitos.

### **Objetivos específicos**

- Diseñar un pórtico plano para uso de vivienda de seis niveles y cinco tramos sometido a efectos de cargas de gravedad y sísmicas utilizando los requerimientos establecidos en especificación AISC 360-10 y norma NEC-2015.
- Diseñar la conexión rígida de la unión viga-columna interna y de borde más desfavorable según los criterios establecidos en la especificación y normativa aplicada.
- Simular el comportamiento estructural de las conexiones viga columna mediante el método de elementos finitos utilizando software computacional.
- Analizar los resultados del comportamiento estructural de las conexiones viga columna obtenidos de la simulación con elementos finitos.



# **CAPÍTULO I**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 El acero**

El acero es principal mente un aleación compuesta de carbono (C) y hierro (Fe) en la cual exista más cantidad de carbono la dureza incrementara, el porcentaje de carbono suele ser del 2.10% aproximadamente [1].

El acero posee propiedades fisicoquímicas las cuales varían de acuerdo con su composición, las principales cualidades son su ductilidad y rigidez. Lo que hace un material muy versátil para distintas industrias como materia prima o sus derivados incluso en la construcción de estructuras metálicas.

El carbono (C) al ser un componente fundamental del acero influye directamente en su composición además de los tratamientos térmicos aplicados al mismo dependiendo directamente de la cantidad de carbono (C) que este contenga, la clasificación de los aceros se rige por la composición en porcentaje de este último [2].

### **1.2 El acero como material estructural**

El acero es uno de los materiales estructurales más importantes en la actualidad, debido a que una de sus principales aplicaciones es la construcción de estructuras metálicas. Como material, sus principales características como alta resistencia y excelente ductilidad, otras ventajas importantes del uso del acero son su amplia gama disponibilidad en el mercado y durabilidad [3].

La producción de hierro y acero se obtiene a partir del refinado de mineral de hierro y chatarra. Además del fundente, coque y oxígeno adecuados en un horno de alta temperatura hasta 1500°C, también se puede combinar con otros metales como el níquel, cobre, molibdeno, fósforo, cromo, manganeso, sílice, azufre, titanio, vanadio y niobio para producir las propiedades requeridas de resistencia, ductilidad, soldadura y corrosión.[3].

Finalmente, el producto es enviado a molinos donde se laminan para obtener los perfiles geométricos deseados además de tubos, tiras, barras, etc. Durante el proceso de laminado el material tiende a mejorar las propiedades tales como: maleabilidad, tenacidad y resistencia.[4].

El acero estructural puede clasificarse por composición química, propiedades de tracción y método de fabricados de aceros al carbono de igual forma aceros de baja aleación de alta resistencia, aceros al carbono tratados térmicamente y aceros de aleación para construcción [5].

En el acero su composición química es de suma importancia ya que de la misma depende las propiedades mecánicas y físicas como la resistencia a la corrosión, el proceso de laminado, soldabilidad y a la fractura, además de los posibles tratamientos térmicos que pueda sufrir el material. [6].

El material A-36 es un acero estructural que tiene como principal característica un esfuerzo mínimo a la fluencia  $F_y = 36 \text{ klb/in}^2$ , lo cual lo hace atractivo para las construcciones estructurales. En la actualidad el acero estructural que tiene un gran crecimiento en la industria por la capacidad de llegar al esfuerzo mínimo de fluencia  $F_y = 50 \text{ klb/in}^2$ , el cual es el A992 y al producirse con chatarra en hornos eléctricos es atractivo al mercado con valor muy parecido al acero A36 [6].

### **1.3 Características del acero estructural A-36**

Las características principales fisicoquímicas del acero A36 para estructuras metálicas se basan en la composición química y las propiedades mecánicas de este material. Actualmente el acero A-36 se puede adquirir en distintas formas como planchas, barras y perfiles así teniendo en cuenta que cada forma del acero A – 36 tiene una composición química con mínimas diferencias [7].

Las propiedades del acero A-36 muestra que es un material dúctil, lo que le hace perfecto para el ámbito de diseño estructural de ahí proviene su nombre comercial el cual es “Acero estructural A– 36” [8].

#### 1.4 Propiedades del acero A-36

El acero estructural A-36 al ser un material muy versátil en la industria de la construcción cuenta con propiedades mecánicas, físicas y químicas aptas para este fin, las principales características de este material influyen directamente en sus ventajas como la resistencia, elasticidad y rigidez [9].

##### Propiedades físicas

$$\delta = 7860 \text{ kg/m}^3 \text{ (0.284 lb/plg}^3\text{)}$$

Densidad

##### Propiedades mecánicas

$$F_y = 36 \text{ ksi ó 250 MPa}$$

Esfuerzo a la fluencia mínimo

$$E = 29000 \text{ ksi ó 200 GPa}$$

Módulo de elasticidad

$$G = 11168 \text{ ksi ó 77 GPa}$$

Módulo de rigidez

$$\mu = 0.3$$

Coefficiente de Poisson

##### Propiedades químicas

$$0.25 - 0.29 \%$$

Carbón

$$0.60 - 1.20 \%$$

Manganeso

$$0.15 - 0.40 \%$$

Silicio

$$0.04 \% \text{ máx.}$$

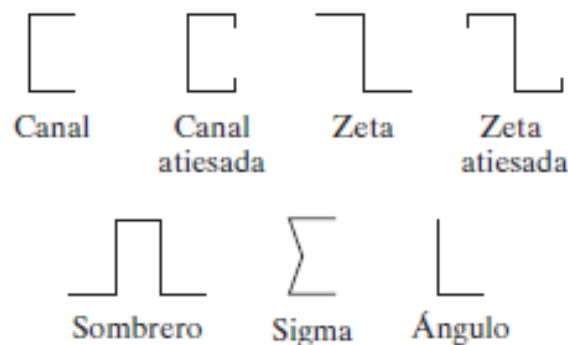
Fósforo

$$0.05 \% \text{ máx.}$$

Azufre

#### 1.5 Perfiles laminados en frio

Los perfiles laminados en frio se fabrican doblando láminas de acero en la forma deseada, el espesor suele ser entre 0.01plg a 0.25plg, en su gran mayoría se utiliza para techos, pisos muros en la figura 1 se observa los perfiles [6].

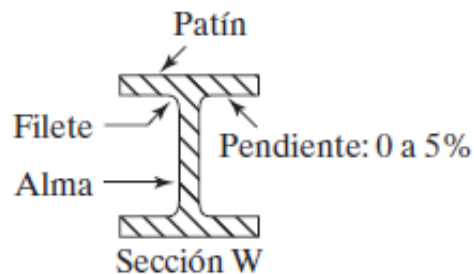


**Figura 1.** Formas en perfiles laminados en frio [6].

## 1.6 Perfiles laminados en caliente

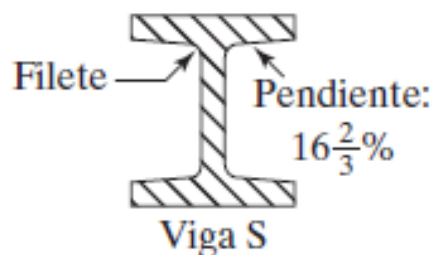
Estos perfiles tienen una diversidad de formas, ya que, estas se utilizan en determinados usos y se exponen a continuación:

Sección W: los perfiles W cuenta con la superficie de las bridas paralelas llamadas patín y por una parte central vertical la cual se denomina peralte como se muestra en la figura 2 [6].



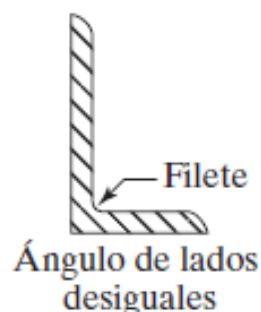
**Figura 2.** Sección W [6].

Sección S: el perfil S cuenta con partes horizontales, patín inferior y superior, los perfiles se unen al alma mediante una pendiente, la parte central se denomina alma en la figura 3 se aprecia una sección S [6].



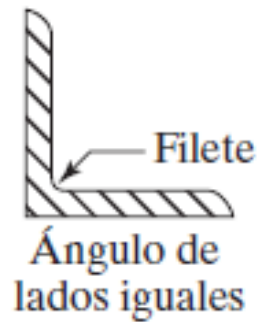
**Figura 3.** Sección S [6]

En la figura 4 se muestra un ángulo de lados desiguales: los ángulos de lados desiguales cuenta con un lado más alargado que el otro formando un ángulo de  $90^\circ$  [6].



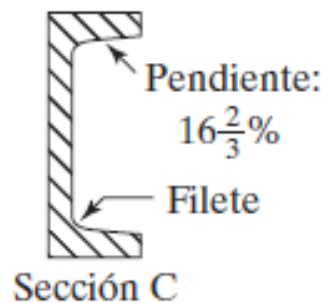
**Figura 4.** Ángulos de lados no iguales [6].

Ángulo de lados equivalentes: los ángulos de lados iguales cuenta con los dos lados del mismo tamaño y entre estos forman un ángulo de 90° como se indica en la figura 5 [6].



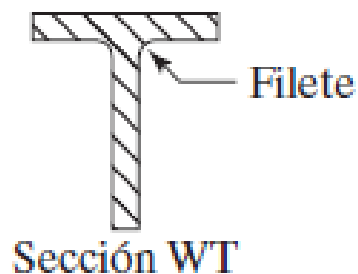
**Figura 5.** Ángulo de lados iguales [6].

Sección C: el perfil C es prácticamente un corte simétrico del perfil S, cuenta con un medio patín uniéndose al alma mediante una pendiente como se aprecia en la figura 6 [6].



**Figura 6.** Sección C [6].

Sección WT: la sección WT tiene una forma de “T” cuenta con un solo patín superior unidos mediante el filete al alma en la figura 7 se puede observar la sección [6].



**Figura 7.** Sección WT [6].

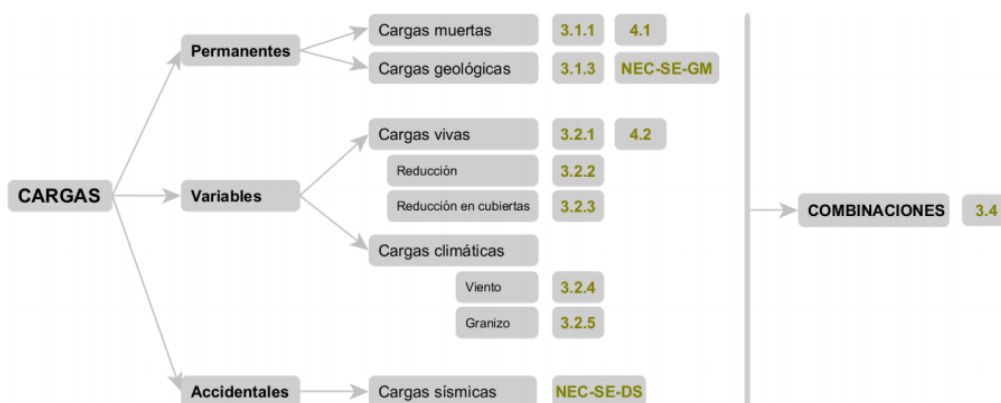
## 1.7 Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015

La Norma Ecuatoriana de la Construcción fue publicada en el año 2015 la cual es una modernización del Código Ecuatoriano de la Construcción, donde la Subsecretaría de Hábitat y Asentamientos Humanos que pertenece al Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, impulsó la publicación de esta normativa, la que tiene por objetivo la regulación de todos los procesos que permiten la aprobación de las exigencias de calidad y seguridad en los diferentes tipos de edificaciones, como resultado de las particularidades de los proyectos, la construcción, el uso y el mantenimiento de los mismos [10].

La Normativa posee 5 secciones, la sección de seguridad estructural de las edificaciones posee 10 capítulos, los cuales cada uno trata temas específicos en la industria de la construcción, donde, se prioriza especialmente la seguridad y comportamiento estructural. Toda construcción está obligada de cumplir los diferentes lineamientos establecidos en la normativa además de las regulaciones territoriales emitidas por los Gobiernos Autónomos Descentralizados donde se ejecuta el proyecto [10].

### 1.7.1 Capítulo cargas (no sísmicas) - NEC-SE-CG

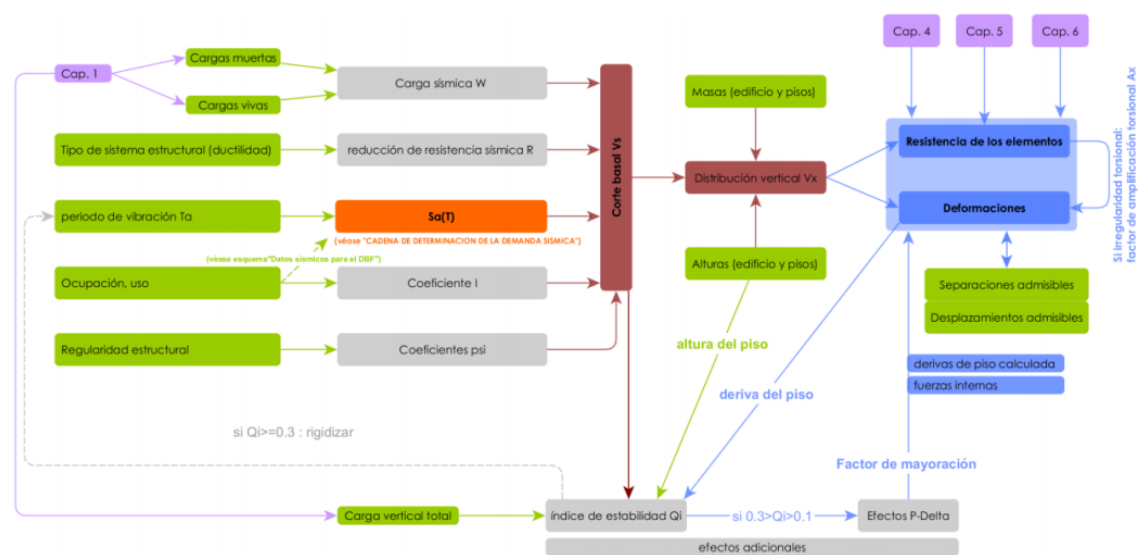
El capítulo NEC-SE-CG expone las cargas permanentes (cargas muertas, peso propio en la estructura), cargas variables (cargas vivas, granizo y viento) y las combinaciones de las cargas que actúan sobre la estructura. Los responsables de la construcción deben cumplir con la ejecución de los ensayos, que permitan determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales además de verificar que cumplan con los parámetros, especificaciones y normas correspondientes, a continuación se aprecia el mapa conceptual de la NEC-SE-CG en la figura 8 [11].



**Figura 8.** Mapa conceptual de la NEC-SE-CG[11].

### 1.7.2 Capítulo cargas sísmicas NEC-SE-DS

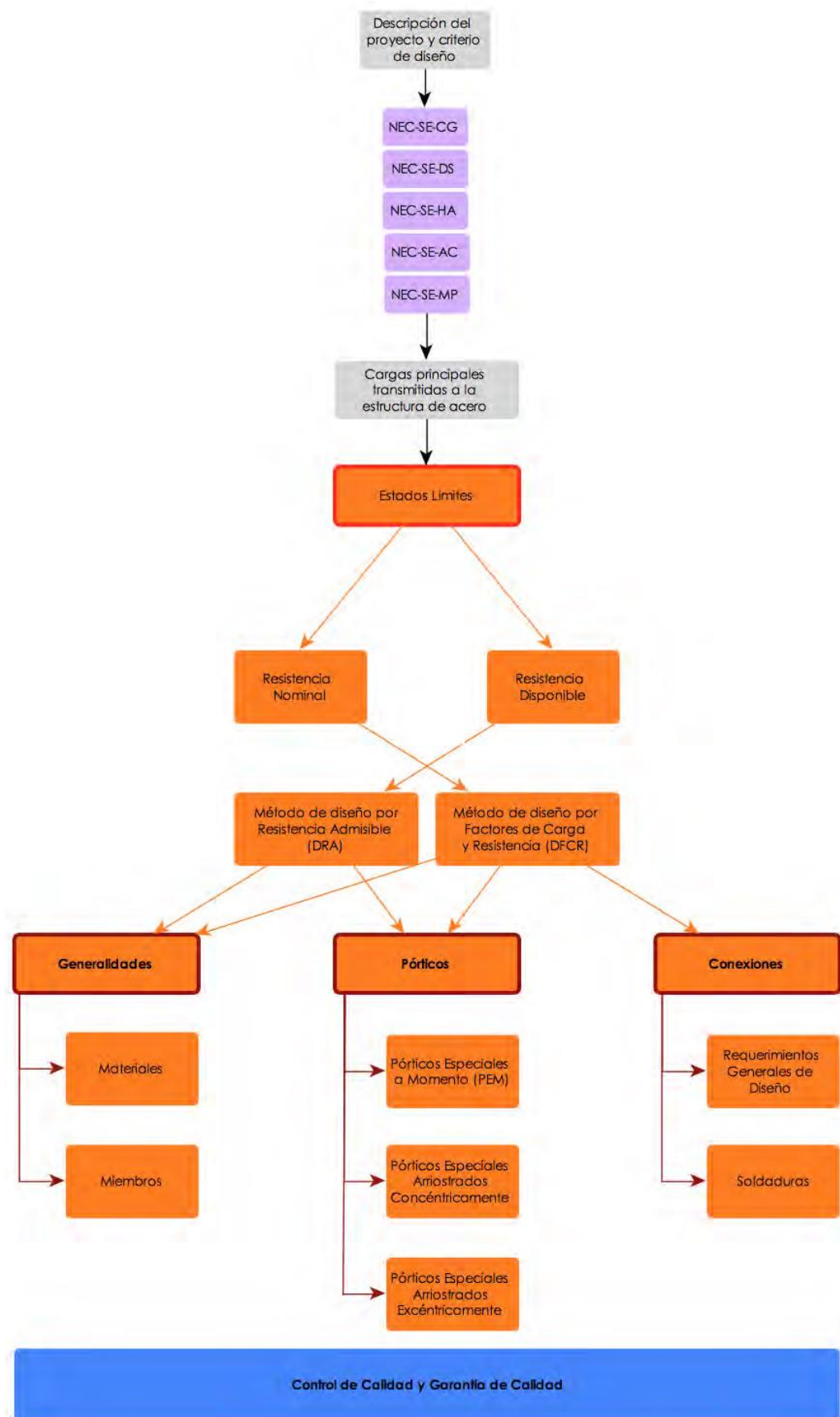
La NEC-SE-DS trata las metodologías y demandas que se deben aplicar al diseño sísmico resistente de edificaciones. El Ecuador al encontrarse situado en el Cinturón de Fuego del Pacífico a lo largo de su historia ha experimentado varios sismos dejando un pérdidas materiales y humanas. Por esta razón es de suma importancia calcular la demanda sísmica, las fuerzas laterales para que la edificación diseñada pueda resistir sin sufrir daños estructurales graves. Se muestra un esquema del diseño basal en esfuerzos como se aprecia en la figura 9 [12].



**Figura 9.** Mapa conceptual del diseño basado en fuerzas (DBF) [12].

### 1.7.3 Capítulo estructuras de acero - NEC-SE-AC

El capítulo NEC-SE-AC estudia a los miembros resistiendo fuerzas verticales (columnas) y horizontales (vigas, riostras) actuantes sobre la estructura de acero, además de las condiciones principales para el diseño, montaje y fabricación de los elementos que forman parte de los miembros que forman el sistema resistente a cargas sísmicas y gravitacionales en acero. Los parámetros antes mencionados consideran que las estructuras de acero se diseñaran, fabricaran y montaran con el empleo de perfiles laminados en caliente o perfiles armados ensamblados, a continuación se muestra un esquema conceptual de análisis de la NEC-SE-AC en la figura 10 [13].

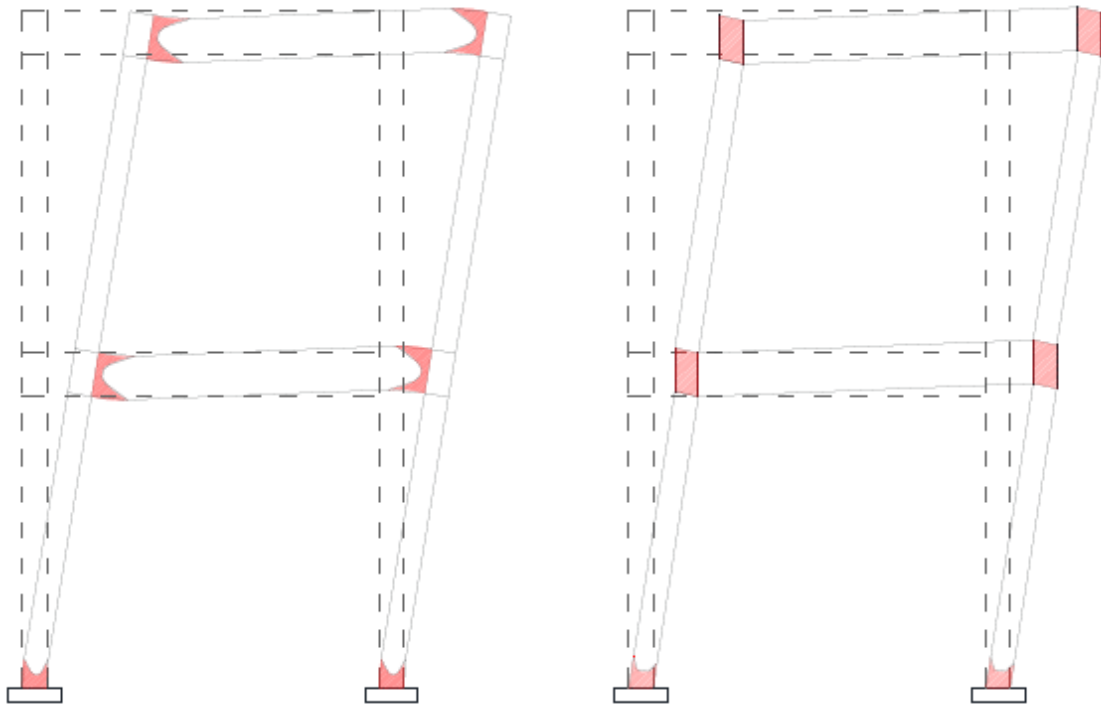


**Figura 10.** Mapa conceptual de análisis de la NEC-SE-AC [13].



## 1.8 Pórticos especiales a momento

El pórtico especial a momento que se muestra en la figura 11 debe poder resistir una deformación inelástica significativa cuando se somete a la fuerza resultante generada por el movimiento telúrico. Se espera que la mayor parte de la deformación inelástica se produzca en las juntas plásticas de la viga, con una fluencia limitada en el área del panel, además, la parte inferior de la columna también debe sufrir una deformación inelástica [13].

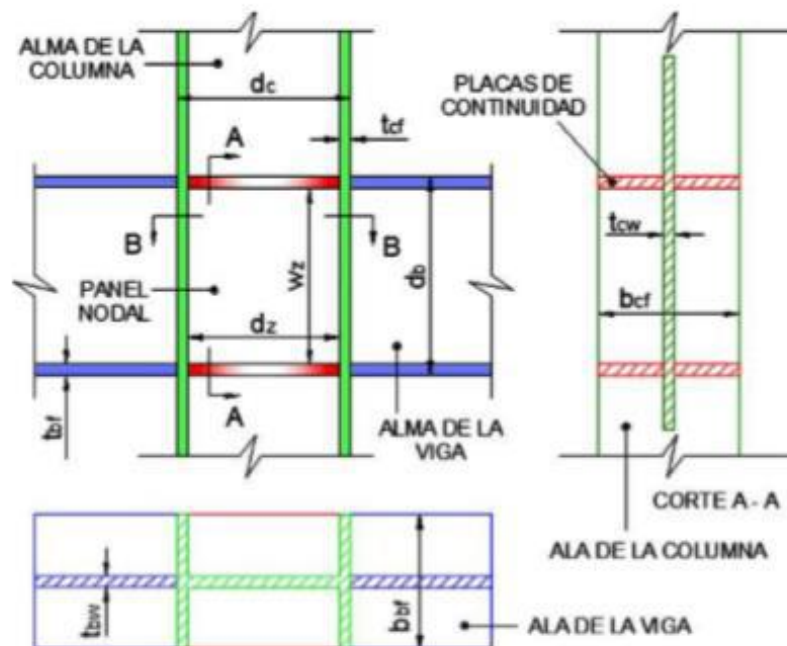


**Figura 11.** Zonas en las que se esperan deformaciones inelásticas en un PEM [13].

Según la NEC-SE-AC las estructuras se clasifican en:

- Tipo 1: todos sus pórticos, tanto exteriores como interiores, son diseñados como pórticos especiales a momento [13].
- Tipo 2: solamente sus pórticos perimetrales se diseñan como pórticos especiales a momento [13].

## 1.9 Nomenclatura típica de la conexión viga-columna



**Figura 12.** Sistema de pórticos especiales a momento [14].

Donde:

$t_p$ : Espesor de la zona de panel

$d_c$ : Altura de la columna

$w_z$ : Altura de la zona de panel

$d_b$ : Altura de la viga

$d_z$ : Ancho de la zona de panel

$t_{bf}$ : Espesor del ala de la viga

$b_{bf}$ : Ancho de las alas de la viga

$t_{cf}$ : Espesor del ala de la columna

$b_{cf}$ : Ancho de las alas de la columna

## 1.10 Localización de las juntas plásticas en la viga

Las rótulas plásticas deben estar posicionadas correctamente, ya que, para determinar la ubicación es necesario realizar cálculos detallados de las cargas gravitacionales y de la demandada flexional que soporta la viga dado que pueden existir una gran cantidad de cargas verticales la ubicación de las rotulas puede variar y que la deformación inelástica no suceda en punto deseado [14].

### 1.10.1 Momento máximo probable en la rótula plástica

La ecuación indica el máximo momento probable en la rótula plástica es:

$$M_{pr} = C_{pr} \cdot R_y \cdot F_y \cdot Z_e$$

Donde:

$C_{pr}$ : Factor que toma en cuenta la resistencia máxima de la conexión, incluyendo el endurecimiento por deformación, restricciones locales incluyendo reforzamiento adicional y otras conexiones [13].

$R_y$ : Factor de esfuerzo de fluencia probable del acero (1.3 / AISC 341)

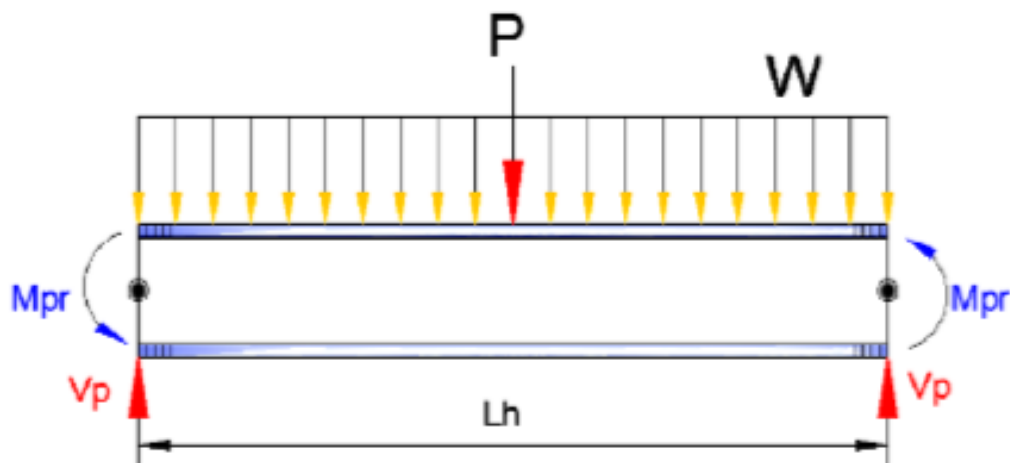
$F_y$ : Mínimo esfuerzo de fluencia del acero.

$Z_e$ : Modulo plástico efectivo de la sección o conexión en la rótula plástica.

Donde el  $c_{pr}$  es igual a 1.4 para una conexión de monto tipo WUF-W.

### 1.10.2 Máximo corte en la rótula plástica

El corte máximo de una rótula plástica  $V_h$  en cada extremo de la viga se determina mediante un diagrama de cuerpo libre entre la longitud del elemento y las rótulas plásticas como se aprecia en la figura 13 [14].



**Figura. 13** Grafica del diagrama de cuerpo libre de una viga [14].

El máximo corte en la rótula plástica se determina por la ecuación:

$$V_h = \frac{2M_{pr}}{L_h} + V_P$$

Donde:

$M_{pr}$ : Momento máximo probable en la rótula plástica

$L_h$ : Longitud libre entre ambas rotulas

$V_P$ : Fuerza de corte calculada en la viga con la combinación de carga 1.2D + 1L+0.2S

Donde:

D: Carga muerta

L: Carga viva

S: Carga nieve o granizo

### 1.11 Criterio columna fuerte viga débil

El principal objetivo del criterio, es que la viga falle y por ende llegue primero al estado de fluencia por la flexión sometida sobre la misma y así la columna no sufra daños estructurales. Acuerdo al criterio se calculará la capacidad mediante la ecuación [15].

$$\frac{\sum M'_{pc}}{\sum M'_{pb}} > 1$$

Solución del  $\sum M'_{pc}$  de acuerdo con la ecuación.

$$\sum M'_{pc} = \sum Z_{xc} \left( F_{yc} - \frac{P_{uc}}{A_{gc}} \right)$$

Solución de  $\sum M'_{pb}$  de acuerdo con la ecuación.

$$\sum M'_{pb} = \sum (M_{pr} + M_{uv})$$

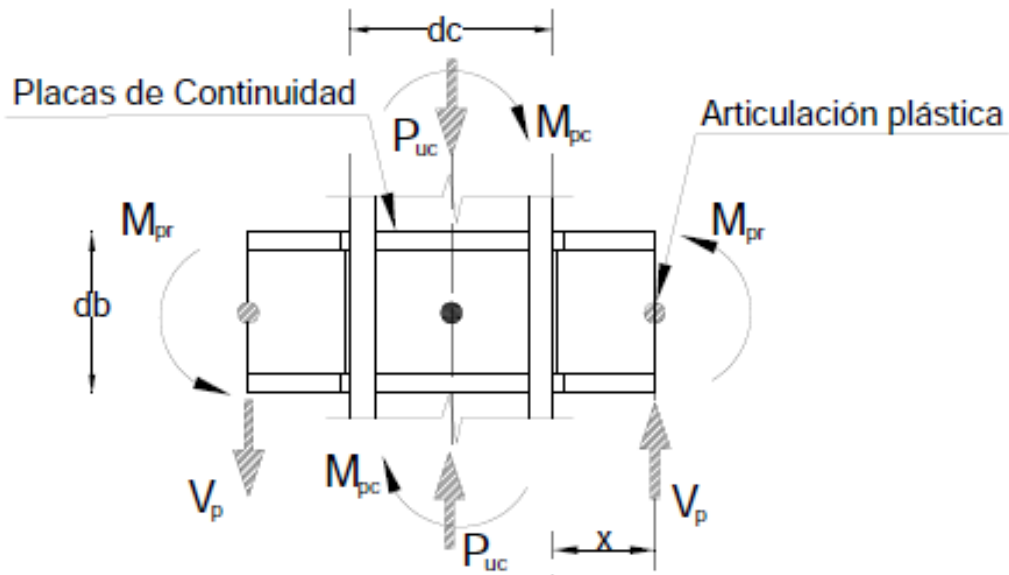
Donde:

$\sum M'_{pc}$ : Sumatoria de resistencias nominales a flexión de las columnas.

$\sum M'_{pb}$ : Sumatoria de resistencias nominales a flexión de vigas.

$P_{uc}$ : Resistencia a compresión requerida.

$M_{uv}$ : Momento de corte en la ubicación de rótulas plásticas hacia el eje de la columna.



**Figura 14.** Determinación de  $M_{pv}$  para una columna interior [13].

### 1.12 Diseño de la placa de sujeción en la unión viga - columna

El diseño de una placa de cortante en la unión del alma de la viga con el patín de la columna se debe verificar que la altura del alma de la viga pueda resistir la fuerza cortante requerida  $V_u$ . Para esto se escoge una placa de espesor mínimo (9,5 mm) y se verifica con la siguiente ecuación:

$$d_{min} = \frac{V_u}{\phi_v \cdot 0.6 \cdot F_y \cdot \tau_{pc}}$$

Donde:

$V_u$ : Resistencia de corte requerida por la viga en la unión con la columna

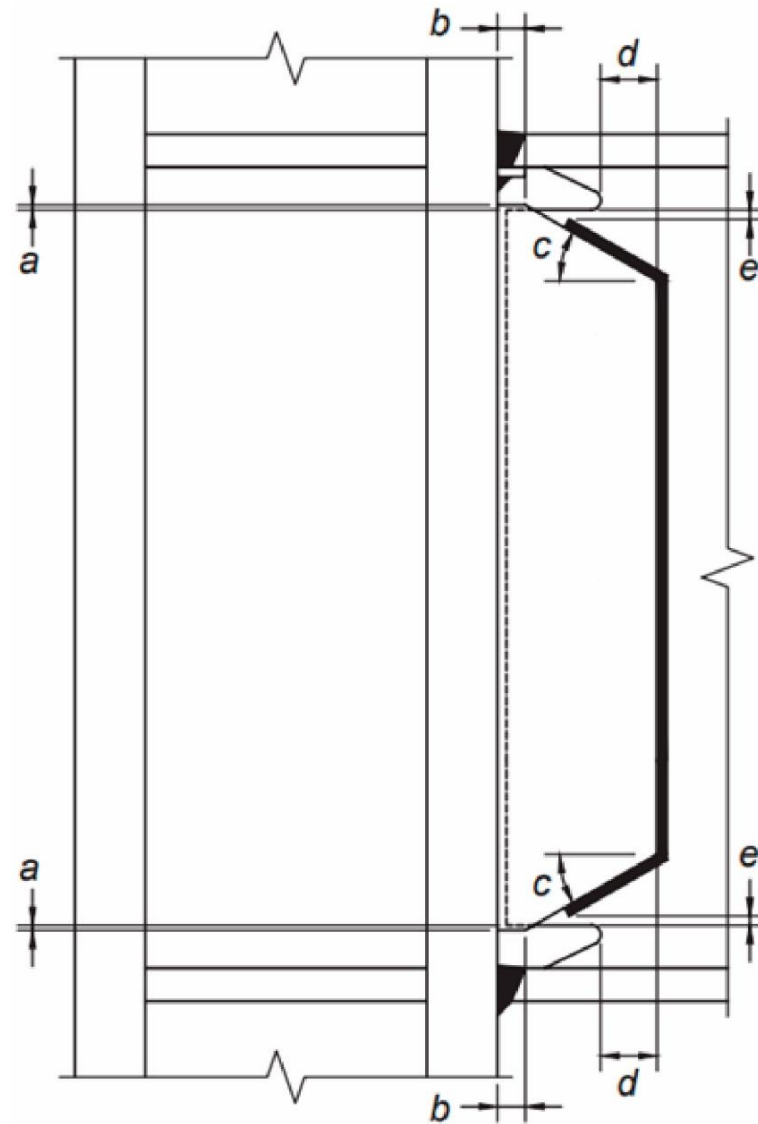
$\phi_v$ : Factor de reducción de la resistencia (1= dúctiles, 0.9= no dúctiles)

$F_y$ : Tensión de fluencia mínima especificada del alma de la columna

$\tau_{pc}$ : Espesor de la placa cortante

La placa de cortante que esta soldada a la columna y la viga, la placa tiene orificios que permiten empernar la placa a la viga al momento del montaje para facilitar la soldadura, la normativa AISC 358-16 indica que no se debe tomar en cuenta estos orificios al

momento de calcular la fuerza cortante se recomienda los valores máximos y mínimos para la soldadura para controlar el diseño, como indica la figura 15 [14].



**Figura 15.** Diseño de la conexión de corte de placa única [16].

Donde:

a: ¼ pulgadas (6 mm) mínimo, ½ pulgada (12 mm) máximo.

b: 1 pulgada (25 mm) mínimo

c: 30° ( $\pm 10^\circ$ )

d: 2 pulgadas (50 mm) mínimo

e: Distancia mínima de ½ pulgada (12 mm), 25 mm máxima distancia desde el agujero de acceso hasta el final de la soldadura de filete.

### **1.13 Limitaciones de las columnas y vigas**

Las vigas y columnas de los pórticos especiales a momento deben cumplir los requerimientos sísmicamente compactos además el diseño de las estructuras. En el Ecuador se selecciona en un coeficiente de reducción sísmica  $R=6$ .

### **1.14 Tipos de cargas**

En cualquier tipo de construcción están presentes las fuerzas que resulten de distintos factores como los materiales propios de la estructura, instalaciones sanitarias, instalaciones eléctricas, granizo, lluvia, sísmicas entre otras. Todas estas fuerzas se clasifican en tres tipos cargas vivas, cargas muertas y cargas accidentales [11].

#### **1.14.1 Cargas vivas**

Son las cargas que pueden trasladarse dentro de la estructura tales como automóviles, maquinaria, grúas, muebles, personas, materiales, básicamente son fuerzas que pueden estar o no estar al igual que movilizarse en toda la estructura [11].

#### **1.14.2 Cargas muertas**

Son todas las cargas que permanentemente se encuentran en la estructura como el peso propio de la edificación, instalaciones sanitarias, instalaciones eléctricas los muros y mampostería [11].

#### **1.14.3 Cargas accidentales**

Según la normativa NEC-SD-EC, una carga accidental actualmente, ocurre durante la vida de una estructura y alcanza grandes magnitudes. Esto no es debido al funcionamiento normal de la estructura y solo ocurre por periodos cortos. Una carga accidental se puede dar por sismos, incendios, viento y otros fenómenos extraordinarios que pueden presentarse [12].

#### **1.14.4 Cargas sísmicas**

Las cargas producidas por movimientos sísmicos en estructuras de acero dependen mucho de las condiciones de los edificios por su diseño y en la zona que se encuentra tomando en cuenta la actividad sísmica de esa zona, los movimientos producidos en los terrenos producen aceleraciones en la construcción dependiendo de la inercia según la masa y

diseño de la estructura. El peso máximo en la construcción se toma en cuenta para la fuerza total producida de inercia que se toma en cuenta el denominado cortante base [17].

### **1.15 Cargas combinadas**

Las cargas combinadas permiten calcular situaciones desfavorables para la estructura la cual puede enfrentar simultáneamente, la NEC-SE-CG como indica el capítulo 3.4.1 las cargas y combinaciones que se deben tomar en cuenta para el diseño de la edificación [11].

Las estructuras, componentes y cimentaciones, deberán ser diseñadas de tal manera que la resistencia de diseño iguale o exceda los efectos de las cargas incrementadas [11].

### **1.16 Métodos de diseño**

McCormac nos dice que el método LRFD es un método, ASD es otro. Los dos métodos tienen como propósito obtener un margen numérico entre la carga y la resistencia, lo que da como resultado una baja probabilidad de una respuesta estructural inaceptable. [6].

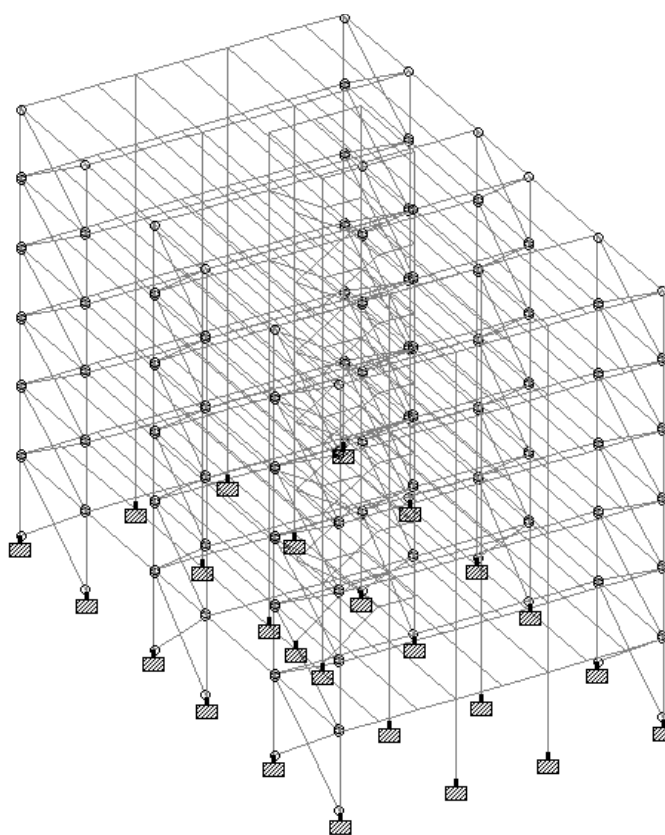


## CAPÍTULO II

### DISEÑO Y MODELACION DE LA ESTRUCTURA

#### 2.1 Descripción de la edificación

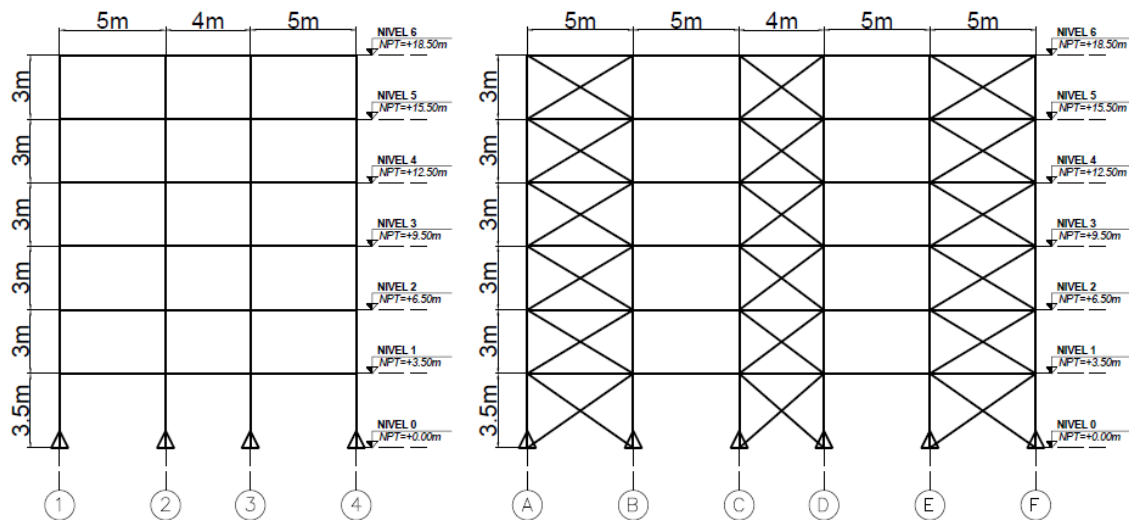
La estructura de acero que se describirá a continuación, está localizada en la provincia de Pichincha, en la ciudad de Quito en el sector de la Carolina la georreferencia de la estructura nos permite determinar considerar tipos de suelo además de la zonificación sísmica que más adelante serán de utilidad para el diseño y calculo estructural, en un terreno que cuenta con 14m de frente por 24m de profundidad dando resultado 336m<sup>2</sup> en la figura 16 se muestra una vista isométrica de la estructura realizada en el software Staad Pro.



**Figura 16.** Vista isométrica de la estructura metálica.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

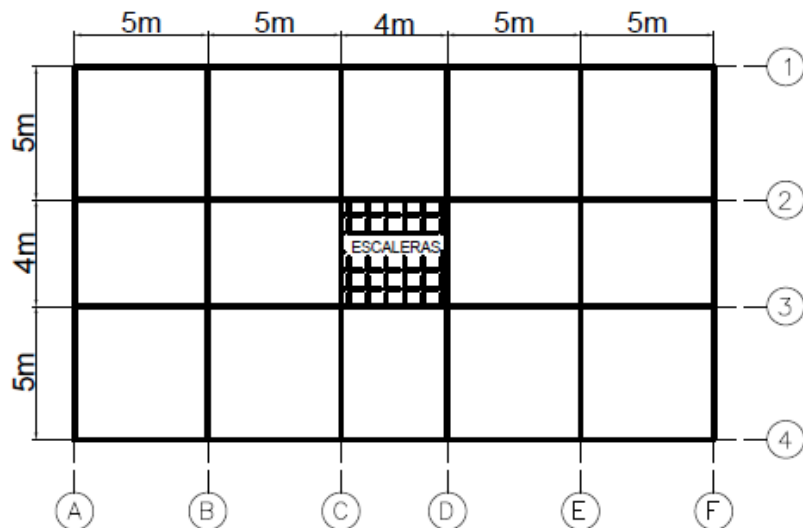
La estructura planteada tiene 6 niveles y 5 tramos, la primera planta tiene una altura de entrepiso de 3.5m, mientras que desde la segunda hasta la sexta planta tiene una altura de entrepiso de 3m. Estas distancias dan espacio suficiente para todas las instalaciones necesarias como son eléctricas, sanitarias, telecomunicaciones, entre otras. La altura total

de la estructura, medida desde la placa de anclaje es de 18.5m a continuación se muestra las vistas laterales, frontal y superior en la figura 17 y figura 18.



**Figura 17.** Vista frontal y lateral de la estructura metálica.

Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.



**Figura 18.** Vista superior de la estructura metálica.

Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

## 2.2 Determinación de las de cargas de diseño

Para el correcto diseño de todos los elementos estructurales se debe conocer todas las cargas tales como cargas vivas, muertas y accidentales las cuales seguirán la normativa vigente y así cargar todas las cargas en el software Staad Pro para nuestro análisis estructural.

### 2.2.1 Cargas vivas

Para el cálculo cargas vivas se tomó como referencia la tabla 9 de la NEC-SE-CG, ya que, la estructura tendrá una ocupación de residencias familiares y los valores se aprecian en la tabla 1.

**Tabla 2.** Detalle Cargas vivas.

<b>Detalle</b>	<b>Carga viva</b>
Nivel 1	200 kg/m <sup>2</sup>
Nivel 2	200 kg/m <sup>2</sup>
Nivel 3	160 kg/m <sup>2</sup>
Nivel 4	160 kg/m <sup>2</sup>
Nivel 5	160 kg/m <sup>2</sup>
Nivel 6	60 kg/m <sup>2</sup>

Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

### 2.2.2 Cargas muertas

Para el cálculo de las cargas muertas se tomó en cuenta los siguientes componentes: una plancha de acero “deck” metálica con un espesor de 0.76 mm, una losa de hormigón de 100 mm de espesor desde la base inferior del “deck” además de las instalaciones eléctricas, sanitarias, telecomunicaciones además del peso propio de la estructura de acero, estas fuerzas se detallan en la tabla 2 para los niveles del 1 al 5 nivel y en la tabla 3 se podrán apreciar las fuerzas del 6 nivel.

**Tabla 3.** Detalle del nivel 1 al 5, cargas muertas.

<b>Detalle</b>	<b>Fuerza</b>
Metal deck	7.50 kg/m <sup>2</sup>
Losa de hormigón	240.00 kg/m <sup>2</sup>
Cerámica de piso	25.00 kg/m <sup>2</sup>
Mampostería	155.00 kg/m <sup>2</sup>
Cielo raso	16.50 kg/m <sup>2</sup>
<b>Total</b>	<b>444.00 kg/m<sup>2</sup></b>

Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

**Tabla 4.** Detalle del nivel 6 cargas muertas.

<b>Detalle</b>	<b>Fuerza</b>
Metal deck	7.50 kg/m <sup>2</sup>
Losa de hormigón	192.00 kg/m <sup>2</sup>
Recubrimiento de piso	23.00 kg/m <sup>2</sup>
Cielo raso	16.50 kg/m <sup>2</sup>
<b>Total</b>	<b>239.00 kg/m<sup>2</sup></b>

Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

### **2.2.3 Cargas accidentales**

El cálculo de las cargas accidentales se tomó como referencia la tabla 4 obteniendo el factor de zona (Z), tabla 11 obteniendo el factor de importancia “I” y la tabla 5 obteniendo los factores de ampliación de suelo según el tipo de suelo en el cual se va a encontrar el edificio, se ha usado la NEC-SE-DS, donde se obtuvo los coeficientes sísmicos, los cuales se obtuvieron mediante un análisis estáticos tomando en cuenta el periodo del edificio y el comportamiento del edificio a un sismo [12].

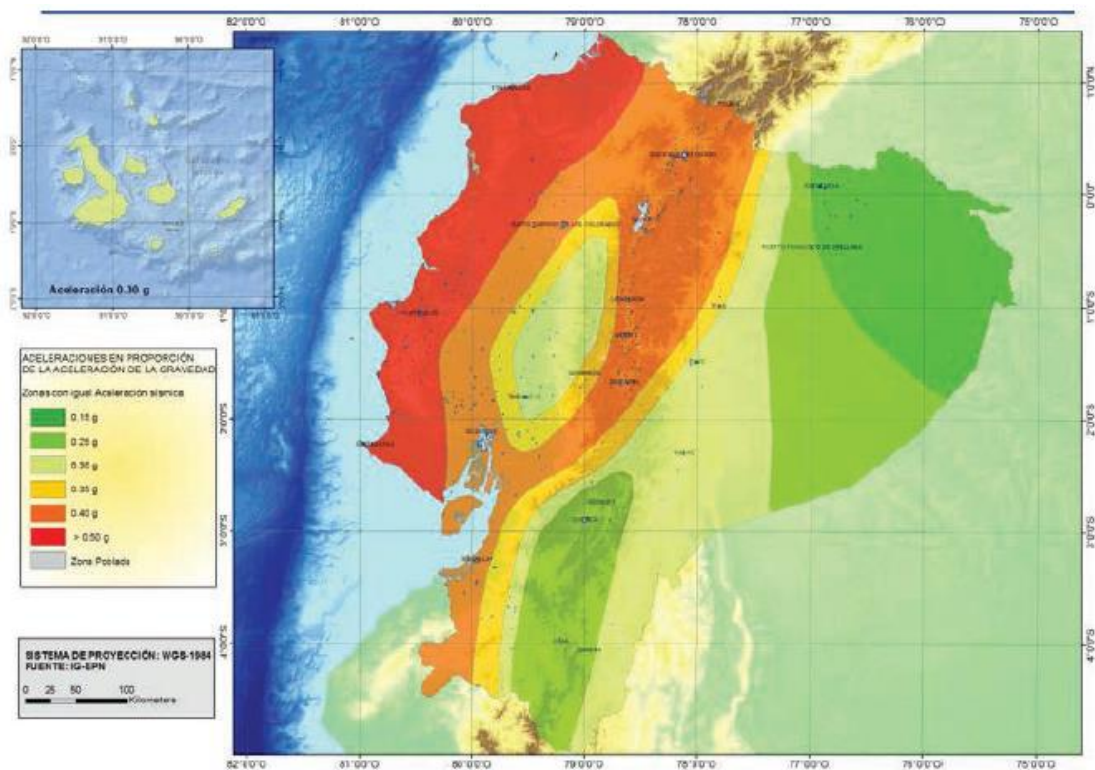
### **2.2.4 Factores de diseño sismorresistente para la estructura considerada**

El Ecuador tiene un alto riesgo sísmico siendo un a zona peligrosa, ya que, se encuentra en la cordillera de los andes, donde se encuentran localizados una variedad de volcanes por el motivo es una zona sísmica, por ese motivo se necesita hacer un diseño sismo resistente determinando varios factores sísmicos, por lo cual se debe regir a la NEC.

#### **2.2.4.1 Zonificación sísmica y factor de zona Z**

El Ecuador se encuentra en una zona de alto riesgo sísmico ,ya que, está situada en la cordillera de los Andes, donde se encuentran localizados una variedad de volcanes por el motivo es una zona sísmica, por lo tanto, se necesita hacer un diseño sismo resistente determinando varios factores sísmicos, por lo cual se debe regir a la NEC [12].

NEC señaló que los edificios residenciales necesitan un valor Z, Z representa la aceleración máxima esperada de la roca utilizada para el diseño sísmico, y el coeficiente de área se puede evaluar de acuerdo con el sitio de construcción del edificio. Como se muestra en la figura 19, se puede ver que hay 6 zonas sísmicas en Ecuador [12].



**Figura 19** Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z. [7]

Según la NEC este mapa nos da los resultados a un estudio de riesgos sísmicos, realizado con datos históricos, para un rango de excedencia de 10% en 50 años y tomando un periodo de retorno de 475 años [12].

**Tabla 5.** Valores del factor Z para zonas sísmica [12].

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	$\geq 0.50$
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

La zona de construcción del proyecto es en Quito, la cual corresponde a una zona V y un valor de factor Z de 0.4 como se indica en la tabla 4.

#### 2.2.4.2 Tipos de perfiles de suelo para el diseño sísmico

Para la selección de un perfil de suelo, se toma en cuenta que la edificación se encuentra en la ciudad de Quito, por ende, se selecciona el perfil de suelo tipo D, ya que, en la ciudad es más común este tipo de suelo como se aprecia en la tabla 5 [18].

**Tabla 6.** Tipo de perfil de suelo [12].

Tipo de perfil	Descripción	Definición
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360\text{m/s} > V_s \geq 180\text{m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100\text{kPa} > S_u \geq 50\text{kPa}$

**2.2.4.3 Tipo y factores de suelo Fa, Fd y Fs**

El tipo de suelo en la ciudad de Quito según la NEC es un tipo de suelo de perfil D y sabiendo que pertenece a una zona V se podrá encontrar los factores según nuestro tipo de suelo, a continuación, se podrá apreciar en las tablas 6, 7 y 8.

**Tabla 7.** Factor de suelo Fa, zona sísmica Z=V [12].

Zona sísmica y factor Z						
Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	$\geq 0.5$
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12

**Tabla 8.** Factor de suelo Fd, zona sísmica Z=V [12].

Zona sísmica y factor Z						
Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	$\geq 0.5$
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11

**Tabla 9.** Factor de suelo  $F_s$ , zona sísmica  $Z=V$  [12].

Zona sísmica y factor $Z$						
Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	$\geq 0.5$
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40

Con estas tablas se podrá adquirir los siguientes valores:

$$F_a = 1.2$$

$$F_d = 1.19$$

$$F_s = 1.28$$

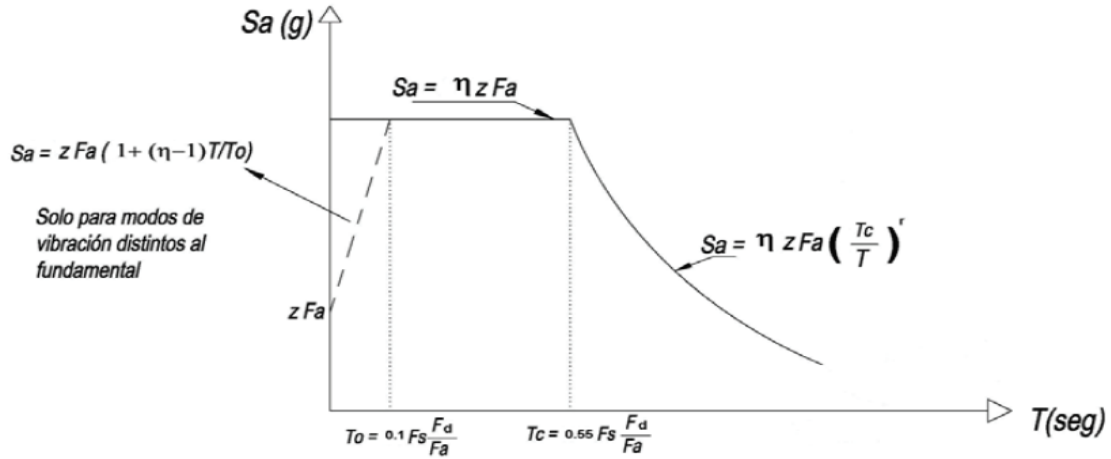
A continuación, mediante el cálculo del período límite de vibración en el tramo del espectro sísmico elástico de aceleraciones, esto nos indica el sismo de diseño.

$$\begin{aligned} T_o &= 0.10 F_s \frac{F_d}{F_a} \\ T_o &= 0.10 \cdot 1.28 \cdot \frac{1.19}{1.2} \\ T_o &= 0.12693 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_c &= 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a} \\ T_c &= 0.55 \cdot 1.28 \cdot \frac{1.19}{1.2} \\ T_c &= 0.69813 \end{aligned}$$

#### 2.2.4.4 Espectros elásticos de diseño

La Norma Ecuatoriana de la Construcción proporciona como se puede representar el valor del espectro elástico como se muestra en la figura 20, utilizando el valor de la zona Z, el tipo de suelo al que pertenece y los factores de suelo  $F_a$ ,  $F_d$ , y  $F_s$  [12]



**Figura 20.** Espectro elástico de diseño sísmico [12].

Para:

$$S_a = n \cdot z \cdot F_a \text{ para } 0 \leq T \leq T_c$$

$$S_a = n \cdot z \cdot F_a \cdot \left( \frac{T_c}{T} \right)^r \text{ para } T > T_c$$

Donde:

$n$ : Razón entre la aceleración espectral y periodo de retorno.

$F_a$ : Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo cortó.

$T$ : Período fundamental de vibración de la estructura.

$T_c$  Período límite de vibración en el espectro sísmico elástica aceleraciones que representa el sismo de diseño.

$r$ : Factor usado en el espectro de diseño elástico ( $r = 1$  para todos los suelos, con excepción del suelo tipo E).

$z$ : Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño.



**Tabla 10.** Valor de  $\eta$  con respecto a las regiones del Ecuador [12].

Provincia	Valores para $\eta$
Sierra, Esmeraldas y Galápagos	2.48

El valor de  $\eta$  sería de 2.48 ya que la ubicación de la estructura está en la zona de Pichicha y pertenece a la religión sierra como muestra la tabla 9.

El valor del periodo de vibración del edificio se calcula con la siguiente ecuación:

$$T = C_t h^\alpha$$

Donde:

$C_t$ : Coeficiente que depende del tipo de edificio como indica la tabla 10.

$h$ : Altura máxima de la edificación.

**Tabla 11.** Tipo de estructura.

Tipo de estructura	$C_t$	$\alpha$
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75

El tipo de la edificación de acero con arriostramientos dándonos unos valores de  $C_t = 0.073$  y  $\alpha=0.75$  según la NEC e indica en la tabla 10.

La altura del edificio es de  $h=18.5\text{m}$ .

Como siguiente punto se calculará el período fundamental de vibración de la estructura.

$$T = C_t h^\alpha$$

$$T = 0.073 \cdot 18.5^{0.75}$$

$$T = 0.651 \text{ seg}$$

Para estos valores se podrá determinar la aceleración espectral para el caso  $0 \leq T \leq T_c$ :

$$Sa = n z Fa \text{ para } 0 \leq T \leq Tc$$

$$Sa = 2.48 \cdot 0.4 \cdot 1.2$$

$$Sa = 1.1904$$

#### 2.2.4.5 Cortante basal de diseño

Para poder calcular la fuerza sísmica se calcula el valor del cortante basal de diseño que está representada por la letra  $V$  y se determina por la siguiente ecuación.

$$V = \frac{I Sa}{(\phi_p \phi_e R)} \cdot W$$

Donde

$Sa$ : Espectro de diseño en aceleración.

$I$ : Factor de Importancia de la estructura.

$\phi_p$ : Coeficiente de configuración estructural de regularidad en planta.

$\phi_e$ : Coeficiente de configuración estructural de regularidad en elevación.

$R$ : Factor de reducción de resistencia sísmica.

$W$ : Carga sísmica reactiva.

#### 2.2.4.6 Categoría de edificio y coeficiente de importancia $I$

El objetivo del factor  $I$  es incrementar el requerimiento de diseño sísmico de la estructura, debido a su uso o características importantes, debe permanecer en operación o sufrir menos daños durante y después del sismo de diseño. [12].

**Tabla 12** Importancia de la estructura, tipo de uso [12].

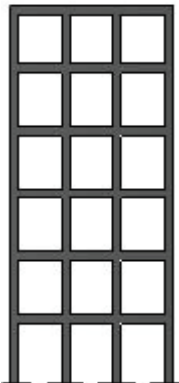
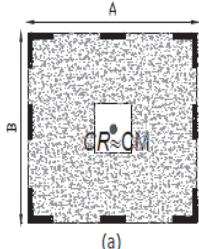
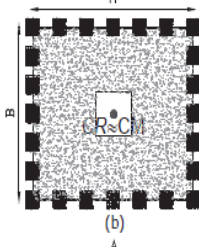
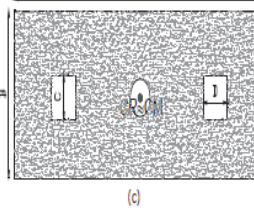
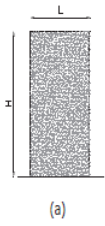

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coeficiente $I$
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores.	1.0

La categoría de nuestro edificio pertenece a otras estructuras y un factor de importancia I de 1.0 cumpliendo este valor se puede seguir todo lo establecido en las nomas NEC como se muestra en la tabla 11.

#### 2.2.4.7 Configuración de planta y elevación

Por lo tanto, los valores de  $\phi_p$  y  $\phi_e$  serian igual a 1 como se muestra en la tabla 12.

**Tabla 13.** Configuración de planta y elevación [12].

Configuración en elevación $\phi_{Ei}=1$		Configuración en planta $\phi_{pi}=1$	
La altura de entrepiso y la configuración vertical de sistemas a porticados, es constante en todos los niveles. $\phi_{Ei}=1$		La configuración en planta ideal en un sistema estructural es cuando el Centro de Rigidez es semejante al Centro de Masa. $\phi_{pi}=1$	  
La dimensión del muro permanece constante a lo largo de su altura o varía de forma proporcional. $\phi_{Ei}=1$	 		

#### 2.2.4.8 Coeficiente de reducción sísmico

Según la NEC, el valor de coeficiente de reducción de resistencia sísmica estructural R es:

$$R=6$$

Para estos valores se podrá calcular el cortante basal de diseño.

$$V = \frac{I S a}{(\phi_p \phi_e R)} \cdot W$$

$$V = \frac{1 \cdot 1.14}{1 \cdot 1 \cdot 6} \cdot W$$

$$V = 0.198W$$

Mediante el programa Excel se puede graficar el espectro.

Se encontrará la distribución vertical de fuerza sísmica lateral por la tabla 13 que brinda la NEC.

**Tabla 14.** Distribución vertical de fuerza sísmica lateral [12].

Valores de T (s)	k
$\leq 0.5$	1
$0.5 \leq T \leq 2.5$	$0.75 + 0.50(T)$
$> 2.5$	2

El valor de k se calculará con el criterio  $0.5 \leq T \leq 2.5$  dando el resultado de:

$$k = 0.75 + 0.50(T)$$

$$k = 0.75 + 0.50(0.651)$$

$$k = 1.0755$$

#### 2.2.4.9 Niveles de amenaza sísmica

**Tabla 15.** Nivel de amenaza sísmica [12].

Nivel de sismo	Sismo	Probabilidad de excedencia en 50 años	Periodo de retorno T, (años)	Tasa anual de excedencia ( $1/Tr$ )
1	Frecuente (menor)	50%	72	0.01389

El nivel de sismo se tomará como frecuentes ya que nuestra edificación se encuentra en una zona V, tomando una tasa anual de excedencia a 0.01389 como se aprecia en la tabla 14.

#### 2.2.4.10 Cálculo del espectro sísmico

En la tabla 15 se podrá apreciar el resumen de los valores para el cálculo del espectro sísmico encontrados con todos los parámetros de la NEC.

**Tabla 16.** Valores para el cálculo de espectro.

Ordenadas espectrales
$Z = 0.40$
$Fa = 1.20$
$Fd = 1.19$
$Fs = 1.28$
$To = 0.12693$
$Tc = 0.698$
$I = 1$
$R = 6$
$n = 2.48$
$r = 1$
$g = 980.67$
$\emptyset Ex = 1$
$\emptyset Ey = 1$
$\emptyset P = 1$

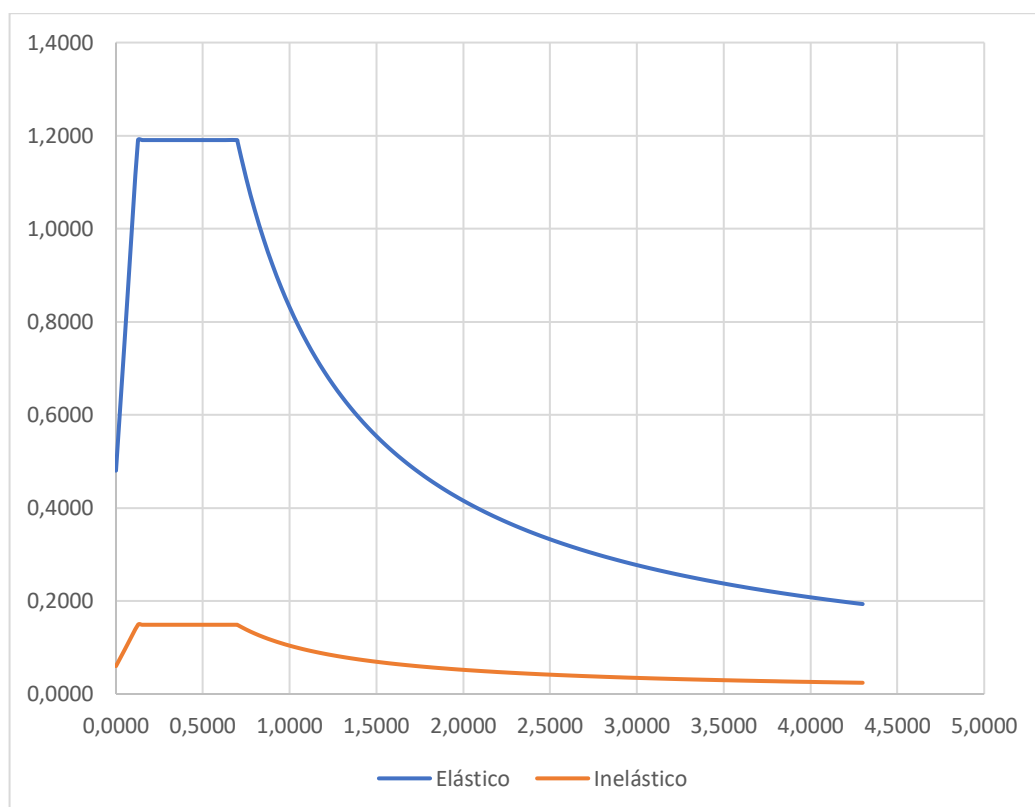
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez

Mediante estos valores y con ayuda del programa Excel se encontró los valores para nuestro gráfico del espectro, especialmente para la estructura planteada y para poder cargarlo en el software Staad Pro como se indica en la tabla 16, figura 21 y figura 22.

**Tabla 17.** Valores del espectro.

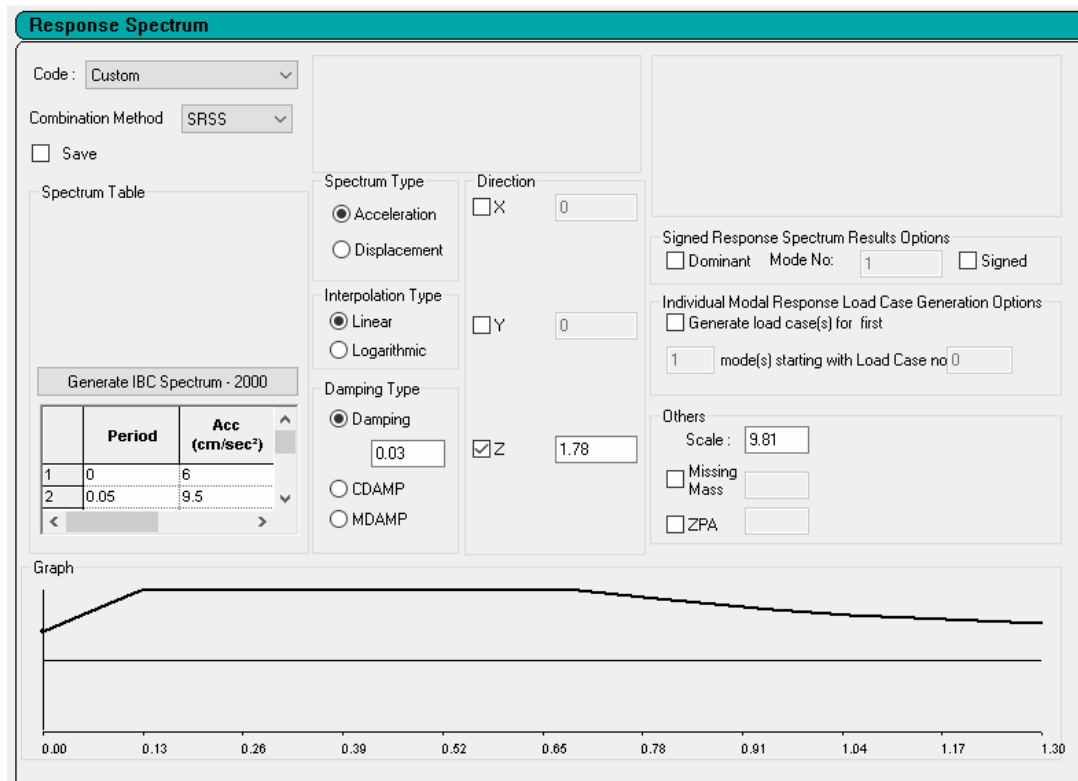
T(s)	Acc ( $\frac{cm}{s^2}$ )
0	6
0.05	9.5
0.1269	14.88
0.6981	14.88
0.8	12.99
0.95	10.93
1.05	9.5
1.3	7.9

Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez



**Figura 21.** Grafico del espectro en el software Excel.

Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez

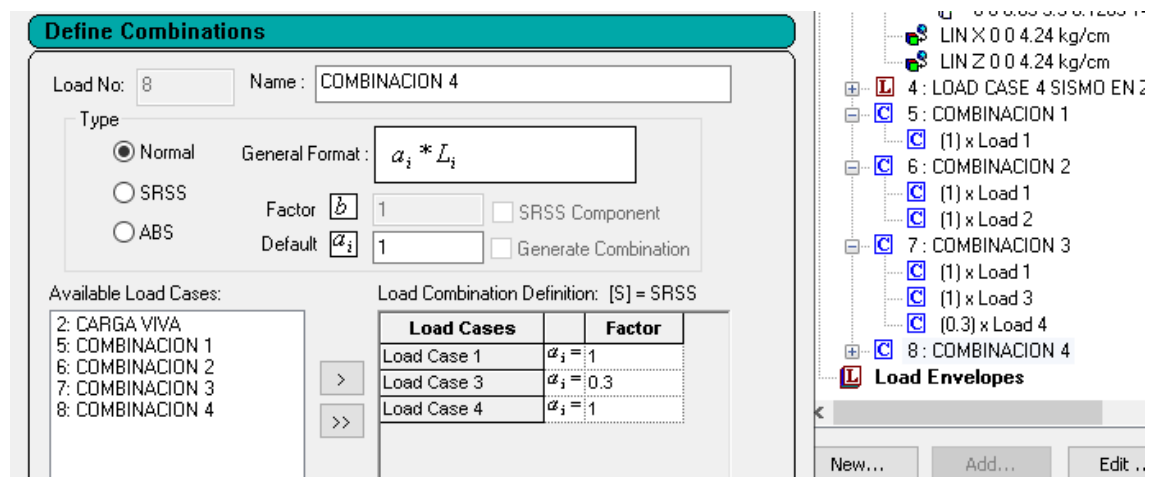


**Figura 22.** Espectro cargado en el programa Staad Pro.

Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

## 2.3 Combinación de cargas

La combinación de cargas aplicada a la estructura se basa en los diferentes factores que actúan sobre la misma como: carga muerta, carga viva y sismo en este caso en particular en la figura 23 se aprecia las combinaciones de carga ubicadas en el software Staad Pro.



**Figura 23.** Combinaciones de cargas en el programa Staad Pro.

Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez

## 2.4 Definición de perfil

Los perfiles utilizados en la estructura se ajustan a los parámetros de la normativa y las cargas que actúan sobre la edificación.

### 2.4.1 Columna

La selección de columna es del distribuidor local “IMPORT ACEROS” con el perfil HEB 360.

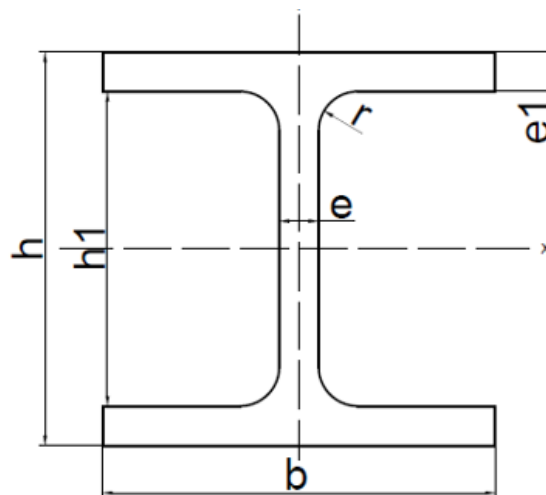
$h$ = Patín

$b$ = Ala

$t$ = Espesor Alma

$e$ = Espesor Ala

$R$ = Radio Giro Alma



**Figura 24.** Perfil HEB 360.

Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez

**Tabla 18.** Características del perfil HEB 360 [19].

Dimensiones							Términos de la sección										
$h$	$b$	$e$	$e1$	$r$	$h1$	$u$	$A$	$Sx$	$Ix$	$Wx$	$ix$	$Iy$	$Wy$	$iy$	$Ie$	$Ia$	Peso
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	Cm <sup>6</sup>	kg/m
360	300	12.5	22.5	27	261	1850	180.6	1340	43193	2400	15.5	10140	676	7.49	320	2883000	142



### 2.4.2 Viga

La selección de viga es del distribuidor local “IMPORT ACEROS” con el perfil IPE 500.

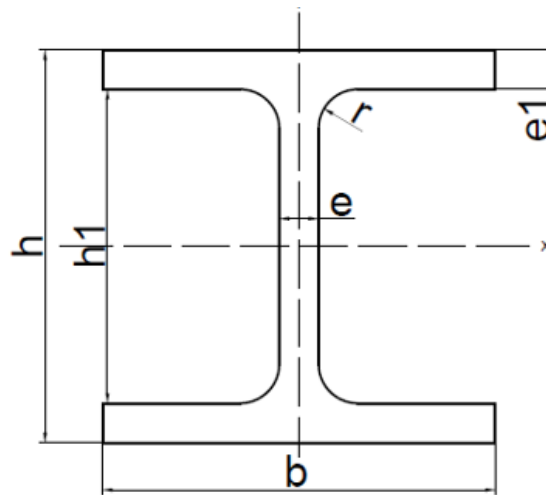
$h$ = Patín

$b$ = Ala

$t$ = Espesor Alma

$e$ = Espesor Ala

$R$ = Radio Giro Alma



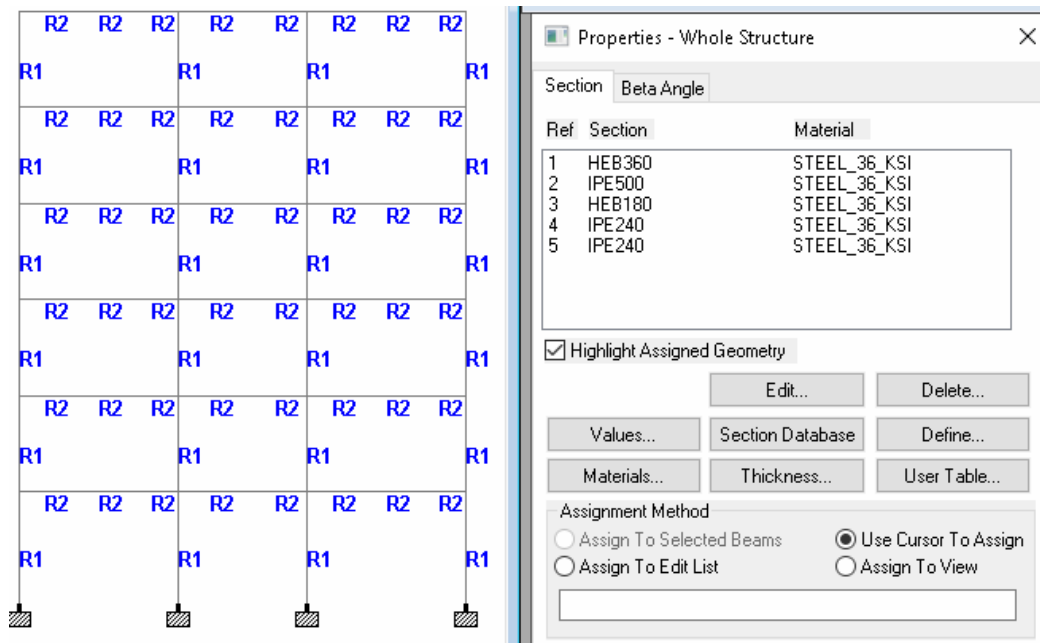
**Figura 25.** Perfil IPE 500.

Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez

**Tabla 19.** Características del perfil IPE 500 [19].

Dimensiones							Términos de la sección										
$h$	$b$	$e$	$e1$	$r1$	$h1$	$u$	$A$	$Sx$	$Ix$	$Wx$	$ix$	$Iy$	$Wy$	$iy$	$Ie$	$Ia$	Peso
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	Cm <sup>6</sup>	kg/m
500	200	10.2	16.0	21	426	1740	116	1100	48200	1930	20.4	2140	214	4.31	91.80	1249000	90.7

En el software Staad Pro se asignaron las vigas, columnas para la estructura como R1 representando la columna HEB 360 y R2 la viga IPE 500 como se muestra en la figura 26.



**Figura 26.** Selección de los perfiles en el software Staad Pro.

Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez

### 2.4.3 Losa

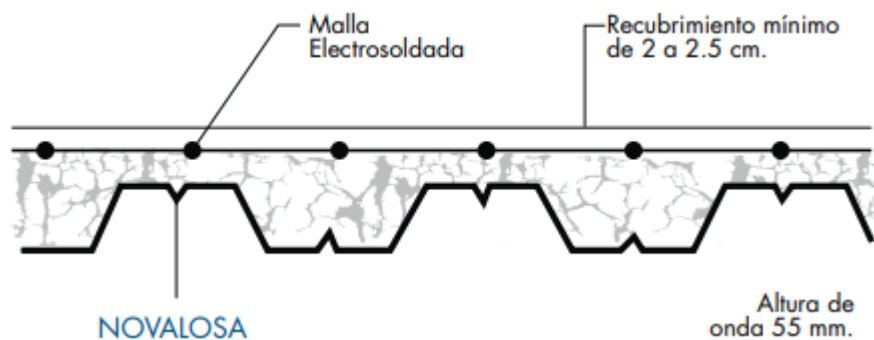
La selección de la losa es del distribuidor local “NOVACERO” con la losa colaborante “Novalosa 55” 6x975x0.75 así como se indica en la figura 27.

$F_y = 2600 \text{ kg/cm}^2$

Lámina galvanizada

$f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

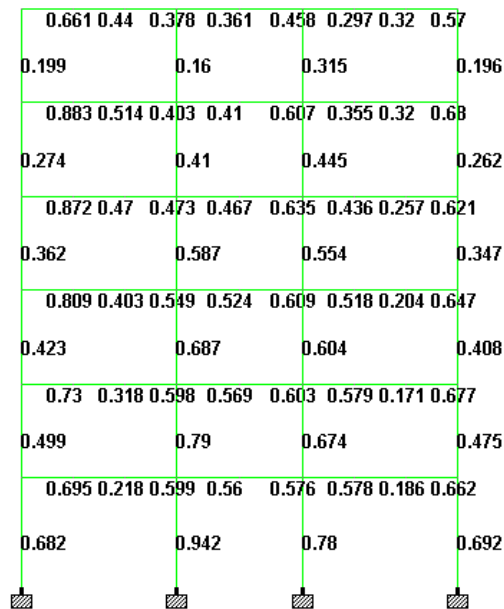
Hormigón



**Figura 27** Detalle nova losa 55 [20].

### 2.5 Ratio y deformación de los pórticos

Una vez se realizó la simulación de la estructura, se obtiene la ratio de los elementos principales y secundarios. El ratio se obtiene de una relación de la capacidad actuante sobre el momento resistente corregido con el empleo del método ASD, el cual debe ser menor a 1.00, como se aprecia en la figura 28.

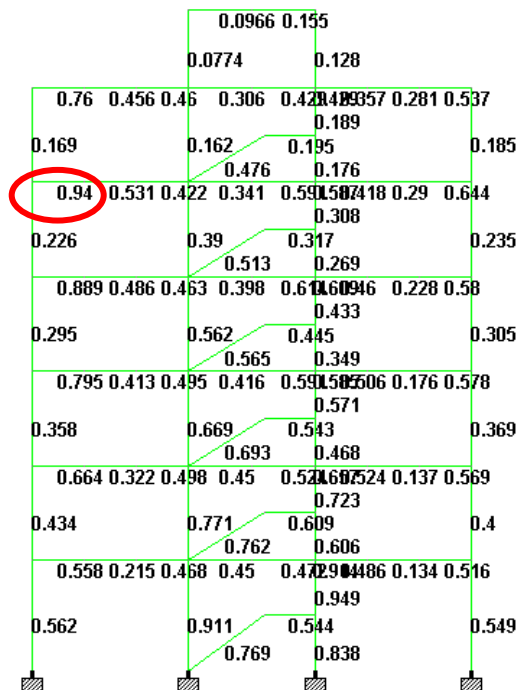


**Figura 28** Ratio de los elementos principales y secundarios

Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez

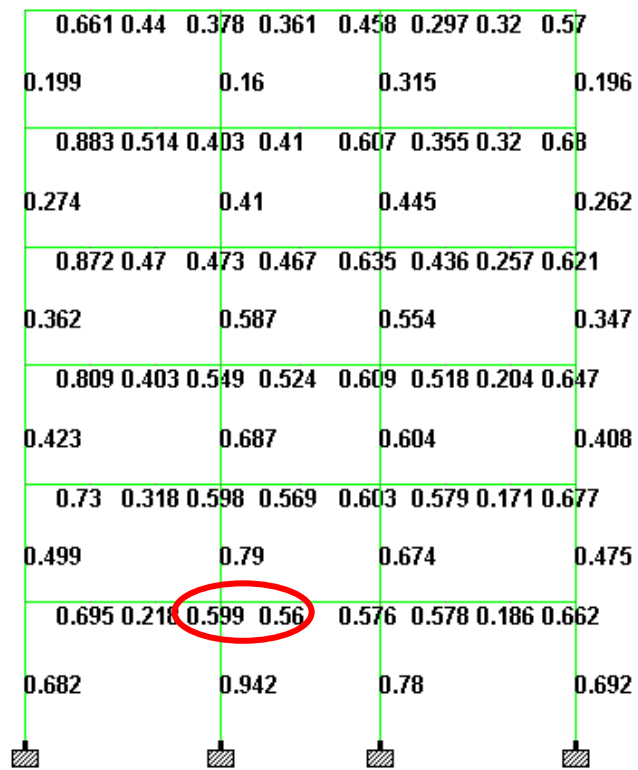
## 2.6 Conexión interna y externa más desfavorables

Realizando un análisis de cada pórtico y conexiones de la estructura se logró encontrar la conexión interna en el pórtico B y externa en el pórtico C, más desfavorable de la estructura de acero como se muestra en las figuras 29 y 30 a continuación.



**Figura 29.** Pórtico C más desfavorables para la conexión externa, Staad Pro.

Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez



**Figura 30** Pórtico B más desfavorables para la conexión interna, Staad Pro.

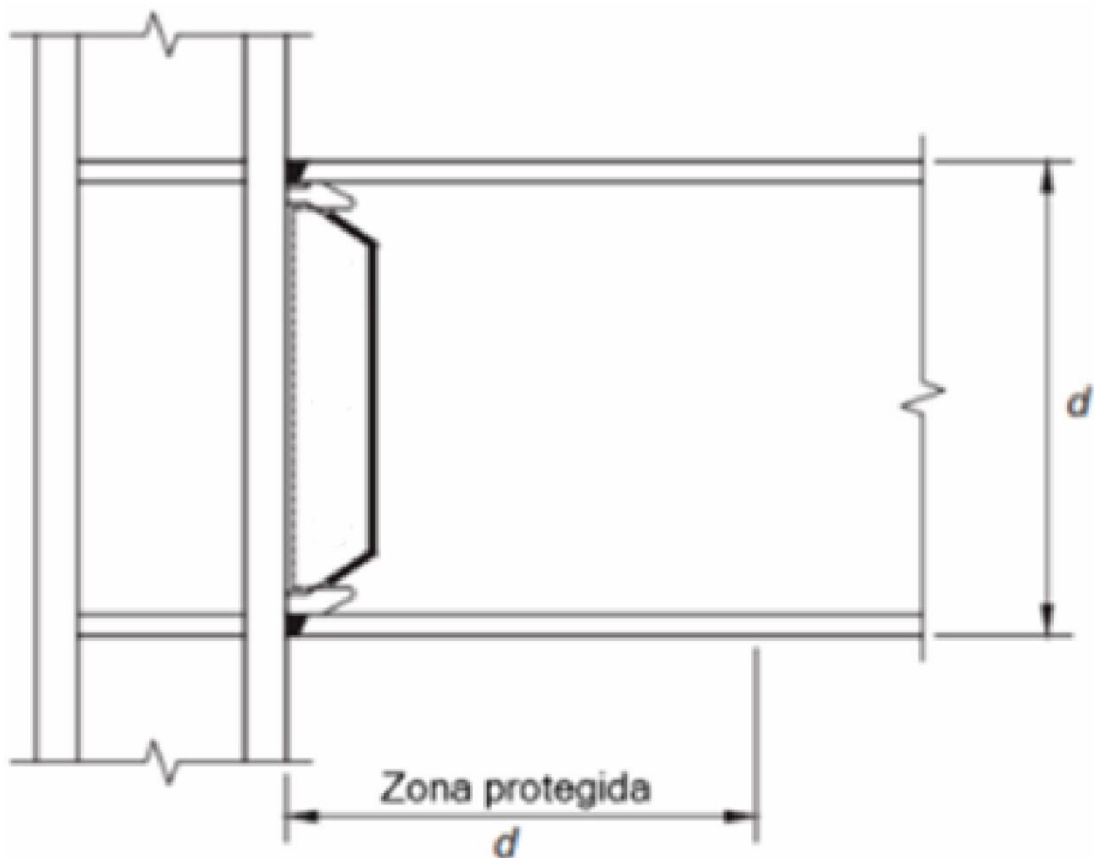
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez

## CAPÍTULO III

### DISEÑO DE LA CONEXIÓN

#### 3.1 Diseño de la conexión soldada a momento WUF-W

Conexión de momento de aletas de soldadura no reforzada soldadas (alma soldada) WUF-W. De acuerdo con el manual AISC, en la soldadura de la conexión de momento de flexión de alma soldada con aleta no reforzada (WUF-W), la rotación inelástica es causada principalmente por la fluencia de la viga en las proximidades de la superficie cilíndrica [15]. La fractura de la conexión se controla mediante detalles especiales relacionados con las soldaduras que conectan las aletas de la viga con las aletas de la columna, las soldaduras que conectan las almas de la viga con las aletas de la columna y la forma y acabado de las bocas de inspección utilizadas para la soldadura. En la figura 31 se muestra una vista general de la conexión [16].



**Figura 31** Conexión a momento WUF-W [16].

### 3.2 Límites de la precalificación de la AISC 358

#### 3.2.1 Limitaciones de viga

1. La viga puede ser laminada o armada a partir de placas soldadas, la viga IPE 500 cumple.
2. El peralte de la viga está limitada a un perfil máximo de W36 o W920 para los tipos de perfiles laminados, y no podrá exceder el permitido del peralte de 36 in o 920 mm para el sistema métrico, la viga a estudiar tiene un parante de 500 mm y cumple con el requerimiento.
3. La viga debe tener un peso máximo de 150 lb/ft o 224 kg/m el peso de la viga a estudiar IPE 500 tiene un peso de 90.7 kg/m, cumple con el requerimiento.
4. Para el espesor de ala, la viga se limita a un máximo de 1 in o 25.4 mm, la viga estudiada posee un espesor de ala de 16 mm, cumple con el requerimiento.
5. La relación de claro libre al patín de la viga debe cumplir,  $\frac{L}{h} \geq 7$

$L$ : Longitud total de la viga

$h$ : Patín de la viga

$$\frac{5000 \text{ mm}}{500 \text{ mm}} \geq 7$$

$$10 \geq 7 \text{ Cumple}$$

6. La zona protegida se toma a la misma distancia  $h$  de la viga desde la cara de la columna en este caso  $h=500 \text{ mm}$

##### 3.2.1.1 Verificación respecto al ancho, espesor determinado por la AISC 360-16.

7. La relación de ancho y espesor de ala,  $\frac{b}{2e}$ , no puede ser mayor a  $0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  y así sea sísmicamente compacto el patín.

$$\frac{200}{2 \cdot 16} < 0.30 \sqrt{\frac{200000}{248.211}}$$

$$6.25 < 8.515 \text{ cumple}$$

8. La relación,  $\frac{d}{t}$ , no puede ser mayor que  $2.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  y así sea sísmicamente compacto el alma.

$$\frac{426}{10.2} < 2.45 \sqrt{\frac{200000}{248.211}}$$

$$41.7647 < 69.545 \text{ cumple}$$

### 3.2.2 Limitaciones de la columna

1. El patín de la columna debe ser conectada a la viga.
2. El peralte de la columna está limitada a un perfil máximo de W36 o W920 para los tipos de perfiles laminados, y no podrá exceder el permitido del peralte de 36 in o 920 mm para el sistema métrico, la columna estudiada HEB tiene un peralte de 360 mm si cumple
3. No hay límites para un peso de longitud de columna.
4. No existe límite para el espesor de los patines.

#### 3.2.2.1 Verificación respecto al ancho, espesor determinado por la AISC 360-16.

5. La relación de ancho y espesor de ala,  $\frac{b}{2e}$ , no puede ser mayor a  $0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  y así sea sísmicamente compacto el patín.

$$\frac{300}{2 \cdot 22.5} < 0.30 \sqrt{\frac{200000}{248.211}}$$

$$6.666 < 8.515 \text{ cumple}$$

6. La relación,  $\frac{d}{t}$ , no puede ser mayor que  $2.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  y así sea sísmicamente compacto el alma.

$$\frac{261}{12.5} < 2.45 \sqrt{\frac{200000}{248.211}}$$

$$20.88 < 69.545 \text{ cumple}$$

### 3.3 Comprobación de la resistencia del material que conforma el nudo a las sollicitaciones de esfuerzos a la que es sometido.

Procedimiento tradicional de cálculo.

Cálculo de momento plástico de la viga mediante la ecuación.

$$\begin{aligned}M_p &= F_y \cdot Z_x \\M_p &= 248.211 \frac{N}{mm^2} \cdot 1930000 \text{ mm}^3 \\M_p &= 479047 \text{ N} \cdot m\end{aligned}$$

### 3.4 Cálculo del momento máximo probable en viga.

$$\begin{aligned}M_{pr} &= C_{pr} \cdot R_y \cdot F_y \cdot Z_x \\M_{pr} &= 1.4 \cdot 1.3 \cdot 248.11 \frac{N}{mm^2} \cdot 1930000 \text{ mm}^3 \\M_{pr} &= 871511 \text{ N} \cdot m\end{aligned}$$

### 3.5 Carga de la columna

Carga distribuida de la cubierta se calcula mediante la ecuación:

$$\begin{aligned}W1 &= \frac{\text{Carga del piso 6}}{\text{Área de la edificación}} \\W1 &= \frac{55.45kN}{336 \text{ m}^2} \\W1 &= 165.029 \frac{N}{m^2}\end{aligned}$$

Cálculo de carga distribuida para cada piso se calcula con la ecuación:

$$\begin{aligned}W2 &= \frac{\text{Carga del piso 5}}{\text{Área de la edificación}} \\W2 &= \frac{46.81kN}{336 \text{ m}^2} \\W2 &= 139.315 \frac{N}{m^2}\end{aligned}$$



### 3.6 Carga de la Viga

Cálculo de la longitud no arriostrada de la viga de AISC.341-16

$$Lb = 0.095 \cdot r_y \cdot \frac{E}{R_y \cdot F_y}$$

Lb: Longitud no arriostrada para el límite de fluencia.

ry: Radio de giro en el eje y.

$$Lb = 0.095 \cdot 2.1 \text{ cm} \cdot \frac{2100000}{1.3 \cdot 2530}$$

$$Lb = 127.379 \text{ cm}$$

$$Lb = 1.27279 \text{ m}$$

Cálculo de la última carga de la viga con la ecuación.

$$P_{ub} = \frac{\text{Longitud del vano} \cdot W^2 \cdot Lb}{2}$$

$$P_{ub} = \frac{5m \cdot 139.315 \frac{N}{m^2} \cdot 1.27279m}{2}$$

$$P_{ub} = 443.297 \text{ N}$$

Cálculo del cortante de la viga según la ecuación:

$$V_u = \frac{2 \cdot M_{pr}}{\text{Longitud del vano} - dc} + P_{ub}$$

Donde:

Vu: Corte producido en la sección de la cara de la columna.

L: Distancia de la viga.

dc: Alma de la columna

$$V_u = \frac{2 \cdot 146306 Nm}{5m - 0.3m} + 443.297 \text{ N}$$

$$V_u = 62701.2 \text{ N}$$

### 3.7 Cálculo del criterio de Columna fuerte – viga débil.

**Columna:**

$$\Sigma M'_{pc} = 2 \cdot Z_{xc} \cdot F_y$$

$$\Sigma M'_{pc} = 2 \cdot 2400000 \cdot 248.211 \frac{N}{mm^2}$$

$$\Sigma M'_{pc} = 1.19141 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot mm$$

$$\Sigma M'_{pc} = 1.19141 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot m$$

**Viga:**

$$\Sigma M'_{pb} = \Sigma \left( C_{pr} \cdot Ry \cdot Fy \cdot Zx + \frac{2 \cdot C_{pr} \cdot Ry \cdot Fy \cdot Zx}{Longitud \text{ del vano} - dc} \cdot \frac{dc}{2} \right)$$

$$\Sigma M'_{pb} = \Sigma \left( 1.4 \cdot 1.3 \cdot 248.211 \frac{N}{mm^2} \cdot 1930000 \text{ mm}^3 \right. \\ \left. + \frac{2 \cdot 1.4 \cdot 1.3 \cdot 248.211 \frac{N}{mm^2} \cdot 1930000 \text{ mm}^3}{5000mm - 500mm} \cdot \frac{500mm}{2} \right)$$

$$\Sigma M'_{pb} = 9.6874 \cdot 10^8 \text{ N} \cdot mm$$

$$\Sigma M'_{pb} = 968740 \text{ N} \cdot m$$

$$\frac{\Sigma M'_{pc}}{\Sigma M'_{pb}} > 1$$

$$\frac{1.19141 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot m}{968740 \text{ N} \cdot m} > 1$$

$$1.2298 > 1 \text{ cumple}$$

Cálculo del área del alma de la viga según la Ecuación:

$$Aw = (db - 2tf_b) \cdot tw$$

Donde:

$db$  : Peralte de la viga.

$tf_b$ : Ancho del patín

$tw$ : Ancho del alma de la viga.

$$Aw = (500 - 2 \cdot 22.5) \cdot 12.5$$

$$Aw = 5687.5 \text{ mm}^2$$

Cálculo de la resistencia a corte determinada por la ecuación:

$$Vn = 0.6 \cdot Aw \cdot Fy \cdot Cv$$

Donde:

$Cv$ : Coeficiente de corte del alma.

$$Cv = 1$$

$$Vn = 0.6 \cdot 5687.5 \text{ mm}^2 \cdot 248.211 \frac{N}{mm^2} \cdot 1$$

$$Vn = 847020 \text{ N}$$

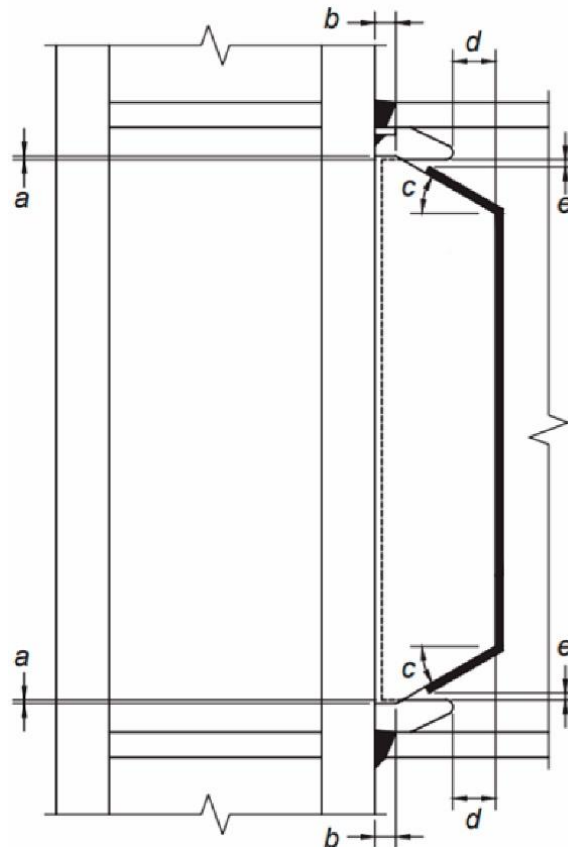
$$Vn > Vu$$

$$847020 \text{ N} > 62701.2 \text{ N}$$

La estructura pasa todos los límites requeridos con la viga y columna seleccionadas cumpliendo todos los requisitos necesarios.

### 3.8 Procedimiento de diseño

#### 3.8.1 Dimensiones de la placa de conexión entre la viga y columna y de soldadura.



**Figura 32.** Diseño de la conexión a cortante con placa simple [16].

$a$  = mínimo 6 mm, máximo 12 mm = 7mm

$b$  = mínimo 25 mm = 25.4mm

$c$  =  $30^\circ (\pm 10^\circ)$  =  $30^\circ$

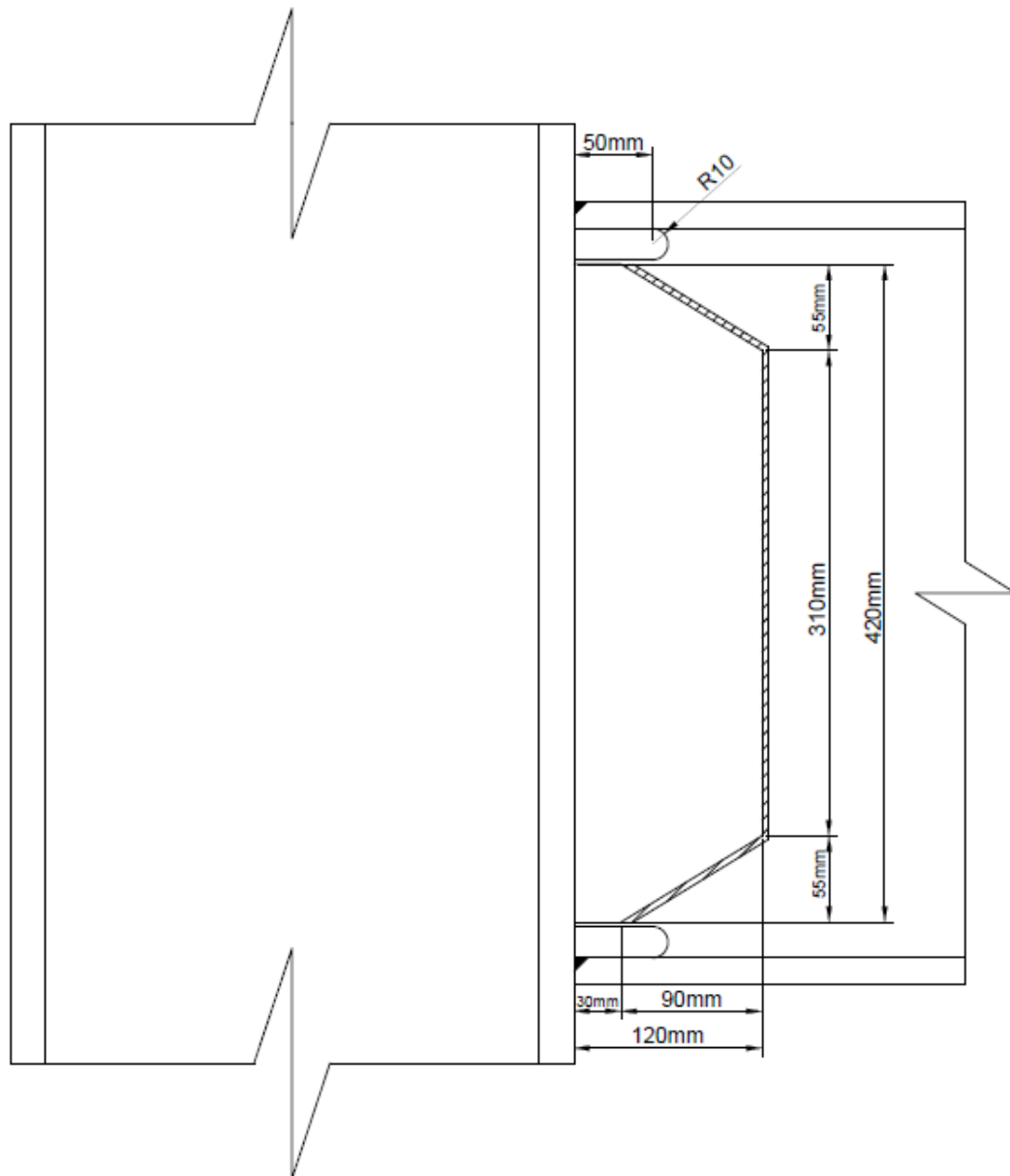
$d$  = mínimo 50 mm = 50.8

$e$  = distancia mínima de 12 mm y distancia máxima de 25 mm desde el extremo de la soldadura de filete al borde del agujero de acceso 25mm

El código de soldadura AWS indica que la altura min de los agujeros para el acceso de soldadura es 20 mm y un ancho mínimo de 1.5 tw. Por lo tanto, para cumplir todos los parámetros planteados de diseño que indica el manual de la AISC 358-16 que se indica en la figura 32 se restará 2.4 cm de los agujeros inferior y superior por cada uno,

obteniendo una altura de placa de 42 cm, un ancho de 12 cm y espesor de 1.2 cm, ya que recomienda la norma q el espesor del alma debe ser menor.

Por lo tanto, se diseñará una placa de 120x420x12 mm, como se muestra en la figura 33.



**Figura 33** Plano de la placa de sujeción.

Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez

### 3.9 Soldadura

En la soldadura de filete el espesor debe tener las dimensiones del espesor más delgado que está conectado, en el caso de esta conexión el espesor de la columna es de 12.5 mm y de la placa de nuestra conexión es de 12 mm por lo tanto la soldadura será máximo 12 mm para nuestra placa.

Para un filete de 45° el grueso del filete de la soldadura es 0.707 veces el tamaño de soldadura [6].

Según la AISC 360-16, se calcula la resistencia a corte de soldadura mediante la siguiente ecuación:

$$\phi R_n = \phi F_{nBM} \cdot A_{we}$$

Donde:

$\phi R_n$ : Resistencia del diseño a corte soldado

$\phi F_{nBM}$ : Tensión nominal soldado del metal,  $kg/cm^2$

$A_{we}$ : Área efectiva soldada,  $cm^2$

En la AISC 360-16 se encontrará el valor de  $\phi F_{nBM}$  cómo se puede ver en la tabla 19.

**Tabla 20.** Resistencia de juntas disponible soldadas[21].

Tabla AISC 360 J2.5				
Resistencia Disponible de Juntas Soldadas, T (kN)				
Corte	Base	Gobernado por J4		
	Soldadura	$\phi = 0.75$	$0.66F_{EXX}$	Ver J2. 1a
		$\Omega = 2.00$		

El diseño de la soldadura de filete se realiza con la unión de la placa de refuerzo con el alma de la viga y patín de la columna [21].

La soldadura filete su tamaño debe lograr transmitir la fuerza del calculada y poder establecer los parámetros de la normativa AISC,360-16 mostrada en la tabla 20 [21].

**Tabla 21.** Tamaño mínimo de soldadura de filete AISC, 360-16 [21].

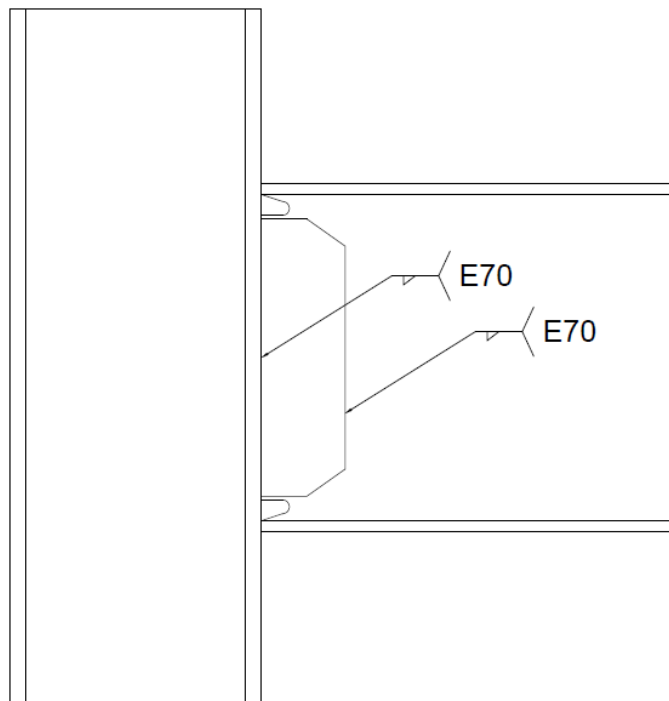
Espesor de parte unida más delgada, mm	Tamaño mínimo de Soldadura de filete, mm
Hasta 6 inclusive	3
Entre 6 y 13	5
Entre 13 y 19	6
Mayor que 19	8

La siguiente tabla 21 que nos indica la normativa AISC 360-16, nos brinda el requisito del metal de aporte y así se podrá escoger el tipo de electrodo para la placa asoldar.

**Tabla 22.** Disposición de la AWS para metales de aporte [21].

Metal Base		Metal de Aporte Compatible
A36, espesor $\leq 19\text{ mm}$		Electrodos E60 & E70
A36, espesor $> 19\text{ mm}$ AS72(Gr.50&55)		SMAW: E7015, E7016, E7018, E7028
A588	A913(Gr.50)	Otros procesos: Electrodo E70
A1011	A992	
	A1018	
A913 (Gr.60&65)		Electrodos E80

En este caso se ocupará el electrodo E70, como indica la tabla 21, el 70 simboliza a la resistencia de tracción mínima que en  $kg/cm^2$  dará el valor de 4921.4 o en  $482.6244\text{ N/mm}^2$ , en la figura 34 se mostrará el detalle.



**Figura 34.** Especificación de la soldadura en la conexión.

Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez

### 3.9.1 Cálculo de la soldadura de filete, entre la placa y patín de la columna.

Longitudes de la placa soldada =  $120 \times 420 \times 12\text{ mm}$

Cálculo de la soldadura a la resistencia máxima al eje longitudinal de la soldadura, mediante la ecuación:

$$R_n = F_{mw} \cdot A_{we}$$

$$R_n = 0.6 \cdot 482.6244 \frac{N}{mm^2} \cdot 10 \text{ mm} \cdot 0.707 \cdot 420 \text{ mm}$$

$$R_n = 1031.84 kN$$

Para el método ASD:

$$\Omega = 2.00$$

$$\frac{R_n}{\Omega} = \frac{859.863 \text{ kN}}{2} = 515.918 \text{ kN}$$

Cálculo de la resistencia a un ángulo para la soldadura de los ejes longitudinales de la soldadura por la Ecuación:

$$R_n = F_{mw} \cdot A_{we}$$

$$F_{mw} = (0.6F_{EXX})(1 + 0.5\text{sen}^{1.5}(\theta))$$

$$R_n = 0.6 \cdot 482.6244 \frac{N}{mm^2} \cdot (1 + 0.5\text{sen}^{1.5}(45)) \cdot 10 \text{ mm} \cdot 0.707 \cdot 420 \text{ mm}$$

$$R_n = 1543.93 kN$$

Para el método ASD:

$$\Omega = 2.00$$

$$\frac{R_n}{\Omega} = \frac{1115.5 \text{ kN}}{2} = 771.966 \text{ kN}$$

Cálculo de la resistencia de diseño a corte por fractura y por la tensión mediante la ecuación:

$$P_n = Fu \cdot Ae$$

$$Ae = Ag \cdot U$$

$U = 1$  por ser piezas soldadas

$$Ae = 420 \text{ mm} \cdot 12 \text{ mm} \cdot 1$$

$$Ae = 5040 \text{ mm}^2$$

Método ASD

$$\phi R_n = 399.896 \frac{N}{mm^2} \cdot 5040 \text{ mm}^2$$

$$\phi R_n = 2015.48 kN$$

$$\frac{R_n}{\Omega} = \frac{2015.48 \text{ kN}}{2} = 1007.74 \text{ kN}$$

**Tabla 23.** Resistencia disponible de juntas soldadas [21].

Tabla J2.5					
Resistencia Disponible de Juntas Soldadas, T (KN)					
Tipo de Carga y dirección relativa al eje de soldadura	Metal pertinente	$\phi$ & $\Omega$	Tensión Nominal ( $F_{nBM}$ $F_{nv}$ ) $Kgf/cm^2$ ( $MPa$ )	Área Efectiva ( $A_{BM}$ $A_{Wa}$ ) $cm^2$ $mm^2$	Nivel de resistencia requerida del metal de aporte
Soldaduras de tope con junta de penetración completa					
<b>Tracción</b> Normal al eje de soldadura.	Resistencia de la junta controlada por el metal base.		Se debe usar metal de aporte compatible con el metal base. Para junta T y de esquina sin remoción de soporte, se requiere de metal de aporte con tenacidad especificada, sección J2.6 AISC 360.		
<b>Compresión</b> Normal al eje de soldadura.	Resistencia de la junta controlada por el metal base.		Se permite metal de aporte con nivel de resistencia igual a un nivel de resistencia menor que metal de aporte compatible con el metal base.		
<b>Tracción o Compresión</b> Paralelo al eje de soldadura.	Tracción o compresión en partes unidas paralelas a la soldadura no necesitan ser consideradas en el diseño de soldaduras que unen las partes.		Se permite metal de aporte con un nivel de resistencia igual o menor que metal de aporte compatible con el metal base.		
<b>Corte</b>	Resistencia de la junta controlada por el metal base		Se debe usar metal de aporte compatible con el metal base.		

Elaborado por: John Bautista &amp; Bryan Chávez.

Según las especificaciones de la AISC J2 de la AISC 360-16 como se muestra en la tabla 22, muestra que la resistencia de las soldaduras de penetración es idéntica a la del metal base por lo tanto no se necesita verificar las especificaciones de resistencia para esta soldadura.



## CAPÍTULO IV

### SIMULACIÓN Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS EN EL SOFTWARE IDEA STATICA

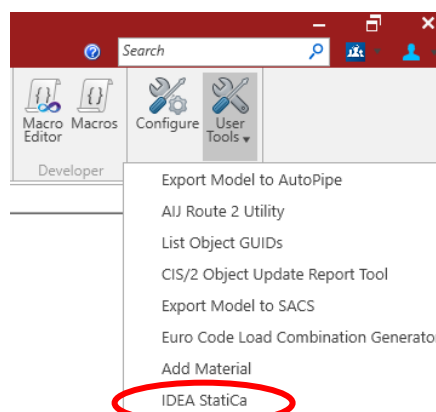
#### 4.1 Introducción y definición del software Idea StatiCa versión 21.0.2.1036

Este Software de diseño de conexiones Idea StatiCa permite crear todo tipo de conexiones de acero ya sea atornilladas, soldadas, conexiones de corte, momento, axiales y todo tipo de variantes de conexiones de acero, mediante este software se podrá realizar el análisis por elementos finitos , ya que, este software es especialmente usado para tipos de conexiones estructurales.

Idea StatiCa funciona con su Saad Pro CONNECT Edition. Puede seleccionar cualquier conexión de acero en Staad Pro y exportarla a IDEA StatiCa para verificar el código. Todas las vigas, secciones transversales y fuerzas internas no solo se exportan, sino que también se sincronizan si cambia el modelo Staad Pro. IDEA StatiCa y Staad Pro le brindan un flujo de trabajo eficiente para su diseño de acero que ahorra tiempo y dinero. [22].

#### 4.2 Importación de datos

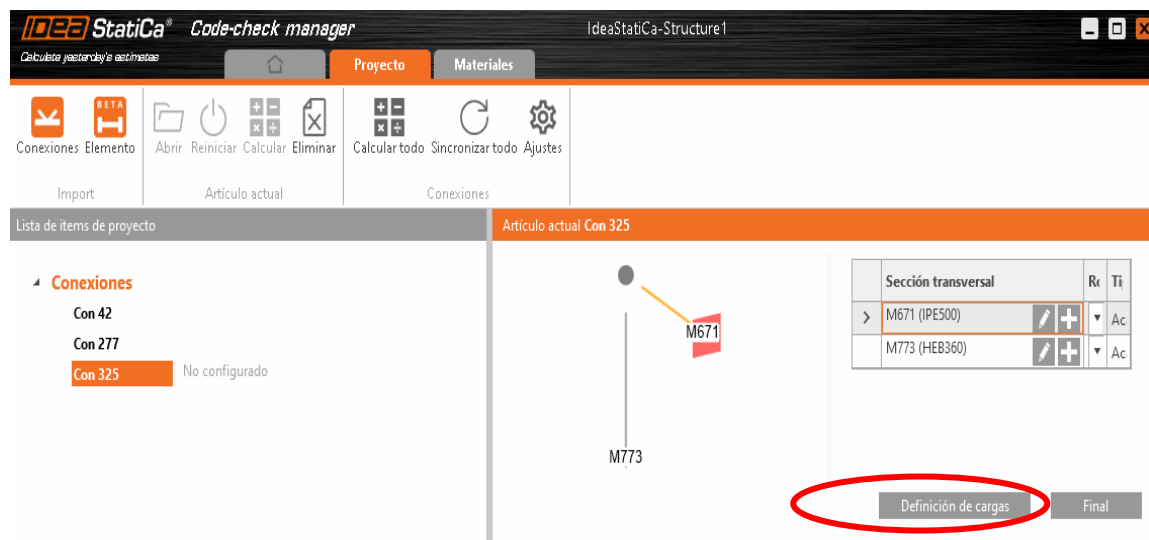
Una vez terminada la simulación en el software Staad Pro, se selecciona las vigas, columnas y nodo a ser analizado, a continuación, se procede a la importación de datos hacia el programa Idea StatiCa el cual nos permite obtener las fuerzas, momentos, perfiles, materiales y normas de diseño para la conexión al ser diseñada, en la figura 35 se muestra la opción de conexión de programas Staad Pro e Idea StatiCa.



**Figura 35.** Proceso de importación de datos del software Staad Pro al software Idea StatiCa.

Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

Se importa los datos de la conexión del software Staad Pro, donde se verifica el grupo de cargas, combinaciones y los resultados del análisis donde no debe existir ningún tipo de incongruencia en los valores obtenidos, seleccionando la opción de definición de cargas como muestra la figura 36 y así importando todos los datos mencionados.

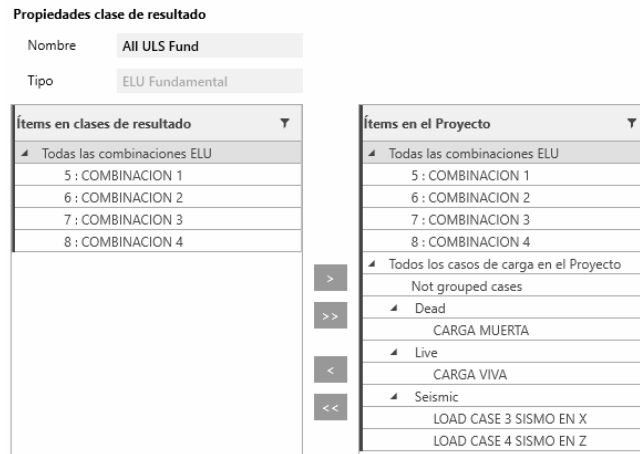


**Figura 36.** Pantalla del Software Idea StatiCa de datos Importados del software Staad Pro.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

En las figuras 37 y 38 se mostrará las cargas y combinaciones que deseamos importar del software Staad Pro al software Idea Statica que se necesita para nuestro análisis de elementos finitos de nuestra conexión.



**Figura 37.** Selección de cargas para el software Idea StatiCa.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

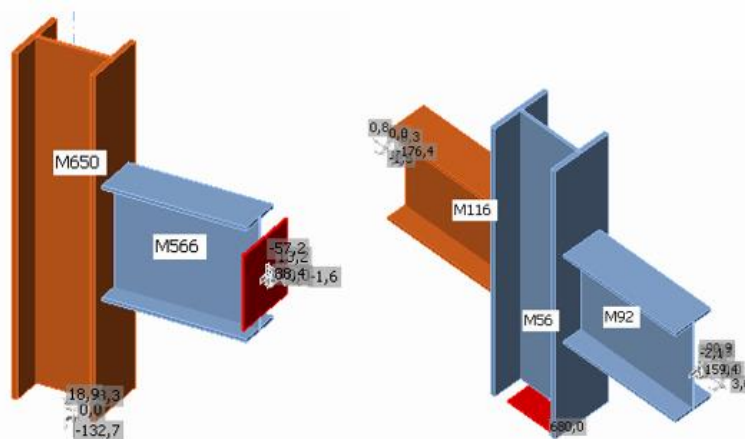


**Figura 38.** Importación de cargas y combinaciones al software Idea StatiCa.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

Al finalizar esta verificación de datos, se obtiene los perfiles, cargas, fuerzas, combinaciones actuantes en el nodo previamente seleccionado para seguir con el diseño de la conexión y análisis de elementos finitos.

### 4.3 Diseño de conexión

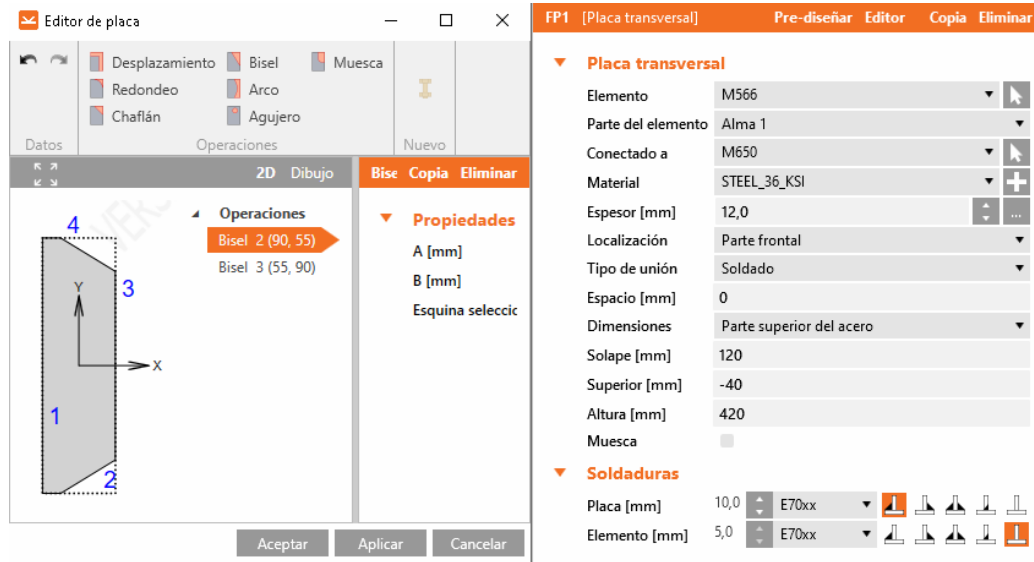
La conexión por analizar, se diseñó previamente bajo normativa AISC-360-16 cumpliendo los requerimientos necesarios para soportar las fuerzas y momentos que las diferentes combinaciones de cargas que se pueden ejercer sobre la misma. El software Idea StatiCa permite construir las conexiones de borde e interna más desfavorables de la estructura de acero con la característica de nuestros perfiles HEB y IPE ya seleccionados en nuestro programa Staad Pro de esta forma el software Idea StatiCa realiza las conexiones como muestra en la figura 39.



**Figura 39.** Conexión de borde e interna en el software Idea StatiCa.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

### 4.3.1 Placa de sujeción

El diseño de la placa de sujeción responde a las normas de diseño previamente calculadas, se selecciona material (A-36) además de la ubicación, medida de la soldadura y dimensiones de nuestra placa de sujeción como mostramos en la figura 40.



**Figura 40.** Configuración de la placa de sujeción y soldadura de ella en el software Idea StatiCa.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

### 4.3.2 Posicionamiento de Viga-Columna

El posicionamiento del patín de la columna con el peralte de la viga para el correcto contacto superficial sobre los dos perfiles se muestra su configuración en la figura 41.



**Figura 41.** Posicionamiento para la viga y columna en el software Idea StatiCa.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

### 4.3.3 Agujeros de soldadura

El diseño de los agujeros de soldadura, se definen a partir de la norma y los cálculos anteriormente analizados, en la parte superior e inferior del alma de la viga su diseño se muestra en la figura 42.

ABR1 [Abertura, muesca]	Pre-diseñar	Copia	Eliminar	ABR2 [Abertura, muesca]	Pre-diseñar	Copia	Eliminar
<b>Abertura, muesca</b>				<b>Abertura, muesca</b>			
Parte de la sección	M566   Alma 1			Parte de la sección	M566   Alma 1		
Forma	Rectangular			Forma	Rectangular		
Ancho [mm]	120			Ancho [mm]	120		
Profundidad [mm]	20			Profundidad [mm]	20		
Radio de redondeo [mm]	10			Radio de redondeo [mm]	10		
Posición X [mm]	0			Posición X [mm]	0		
Excentricidad [mm]	224			Excentricidad [mm]	-224		
Rotación [°]	0,0			Rotación [°]	0,0		
Rigidizador	<input type="checkbox"/>			Rigidizador	<input type="checkbox"/>		

**Figura 42.** Diseño de los agujeros de soldadura en el programa Idea StatiCa.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

### 4.3.4 Parametrización de soldadura

La soldadura (E70xx) de la conexión cumple con los parámetros que rige la norma en este caso se suelda la placa de sujeción por los 3 bordes y la unión de la ala superior e inferior de la viga con el patín de la columna, finalmente se dimensiona la soldadura como se aprecia en la figura 43.

Soldadura1 [Soldadura general o contacto]	Pre-diseñar	Copia	Eliminar	Soldadura2 [Soldadura general o contacto]	Pre-diseñar	Copia	Eliminar	Soldadura3 [Soldadura general o contacto]	Pre-diseñar	Copia	Eliminar
<b>Soldadura general o contacto</b>				<b>Soldadura general o contacto</b>				<b>Soldadura general o contacto</b>			
Ubicación	borde con superficie			Ubicación	borde con superficie			Ubicación	borde con superficie		
Tipo	Soldadura			Tipo	Soldadura			Tipo	Soldadura		
<b>Primera placa</b>				<b>Primera placa</b>				<b>Primera placa</b>			
Elemento o placa	FP1			Elemento o placa	FP1			Elemento o placa	FP1		
Índice de bordes	A			Índice de bordes	S			Índice de bordes	3		
<b>Segunda placa</b>				<b>Segunda placa</b>				<b>Segunda placa</b>			
Placa	M566   Alma 1			Placa	M566   Alma 1			Placa	M566   Alma 1		
<b>Soldaduras</b>				<b>Soldaduras</b>				<b>Soldaduras</b>			
Soldadura [mm]	10.0			Soldadura [mm]	10.0			Soldadura [mm]	10.0		
E70xx				E70xx				E70xx			
Tipo	Continuo			Tipo	Continuo			Tipo	Continuo		

**Figura 43.** Parametrización de soldadura de la placa de sujeción en el software Idea StatiCa.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

De igual manera la soldadura (E70xx) se coloca en la parte de unión de nuestra viga y columna soldando al ala de la viga y columna por sus dos extremos para una ayuda a la conexión y su parametrización se indica en la figura 44.

**Soldadura7** [Soldadura general o contacto] Pre-diseñar Copia Eliminar

▼ **Soldadura general o contacto**

Ubicación borde con superficie ▼

Tipo Soldadura ▼

▼ **Primera placa**

Elemento o placa M92 ▼

▼ **Segunda placa**

Placa M56 | Ala inferior 1 ▼

▼ **Soldaduras**

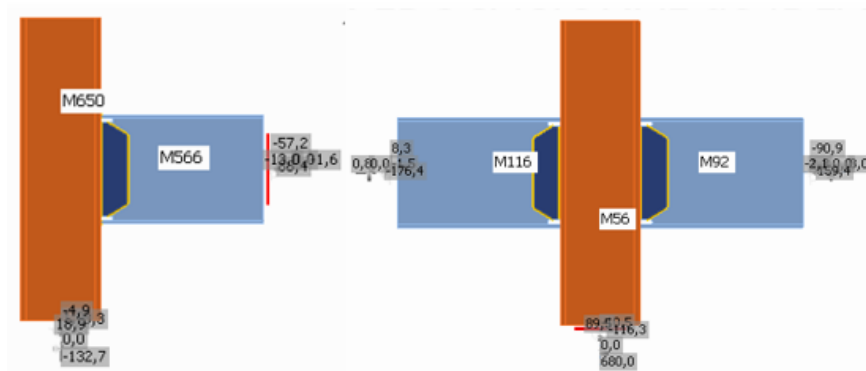
Soldadura [mm] 10,0 ▼ E70xx ▼

Tipo Continuo ▼

**Figura 44.** Parametrización de la soldadura entre viga y columna en el software Idea StatiCa.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

### 4.3.5 Conexión interna y de borde

Una vez finalizado el proceso de diseño se obtiene las conexiones listas para la verificación e informe de diseño mediante elementos finitos de nuestras conexiones de borde e internas realizadas en el software Idea StatiCa como se muestra en la figura 45.



**Figura 45.** Conexión de borde e interna terminadas en el Software Idea StatiCa.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

### 4.4 Verificación de parámetros

En este punto, se hace un repaso de todos los parámetros de toda la conexión como el código de diseño y subapartado, los perfiles, las soldaduras y las cargas, además se puede modificar los parámetros de mallado de la conexión para su simulación. Se selecciona el comando calcular para verificar que no exista un error en el diseño, donde realiza el análisis general, de los elementos y de las soldaduras como se muestra en la figura 46 de la ventana de configuración de la norma del software Idea StatiCa.

Configuración de la Norma

Factor de seguridad del material	1,67
unión resistente al deslizamiento	1,5
<b>▼ Configuración de la verificación</b>	
Deformación plástica límite [%]	5,0
Deformación límite local [%]	3,0
Deformación plástica de adventencia. [%]	3,0
Nivel de alerta de la verificación [%]	95,0
Nivel óptimo de la verificación [%]	60,0
Distancia entre tornillos [d]	2,66
Detallado del anclaje: paso mínimo	4
<b>▼ Modelo y malla</b>	
Longitud por defecto de elemento estándar [h]	1,25
Longitud por defecto de elemento con sección hueca	1,25
División de la superficie del mayor elemento tubular	64
División de arco de los elementos tubulares rectang	3
Número de elemento en el mayor ala o alma del ele	8
Número de elementos en el alma mayor del elemen	16
Número de iteraciones en el análisis	25
Cuenta de iteraciones divergentes	3
Tamaño mínimo del elemento [mm]	5
Tamaño máximo del elemento [mm]	20

Ampliar Colapsar Restaurar Guardar Aceptar Cancelar

**Figura 46.** Verificación de parámetros en el software Idea StatiCa.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

#### 4.5 Informe de resultados del análisis de la conexión

El software Idea StatiCa al final de la simulación nos presenta un informe detallado dependiendo del análisis que se realice donde se puede visualizar datos del proyecto, material, diseño, verificación, simulación y la configuración de la norma, además se obtiene graficas de verificación general, deformación y tensión equivalente, incluso la aprobación de todas las soldaduras utilizadas para la conexión en la figura 47 se visualiza un reporte de la información que nos brindara el informe del programa Idea StatiCa.

**Report**

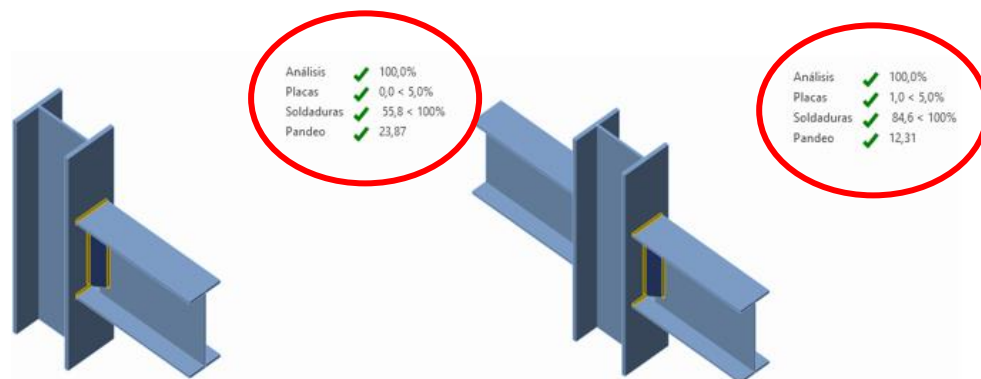
- Datos del proyecto ☒
- Párrafo ☐
- Materiales ☒
- Uniones del proyecto ☒
- Configuración de la norma ☒
- Base teórica ☐
- Información del programa ☐

**Figura 47.** Reporte del informa en el software Idea StatiCa.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

## 4.6 Resultados finales del análisis de las conexiones

### 4.6.1 Verificación general

El software Idea StatiCa brinda la verificación general por elementos finitos especiales para este tipo de conexión, ya que, este software es especializado para este tipo de simulaciones, dando un resumen donde indica si la conexión cumple o no cumple con todos los parámetros que da la normativa seleccionada como se muestra en la figura 48.



**Figura 48.** Verificación general del software Idea StatiCa.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

La verificación general permite obtener tablas detalladas sobre los elementos y placas para los efectos de la carga extrema donde influyen el espesor del material, el efecto de la carga crítica, la tensión equivalente máxima, la deformación plástica y datos de diseño. El cálculo de estos factores se realiza bajo la normativa AISI-360-16 en la figura 49 nos indica todos estos valores y muestran como todos nuestros elementos cumple a todas las cargas, tensiones y fuerzas a las que se someten los elementos.

AnalisisPlacasSoldadurasPandeo

Verificación de los elementos y placas de acero para los efectos de la carga extrema

	Estado	Ítem	Th\\ \ [mm]	Cargas	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{Pl}$ [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]
>	✓	M566-bfl 1	16,0	7: COMBINACION 3	140,2	0,0	0,0
	✓	M566-tfl 1	16,0	7: COMBINACION 3	139,1	0,0	0,0
	✓	M566-w 1	10,2	7: COMBINACION 3	148,7	0,0	0,0
	✓	M650-bfl 1	22,5	7: COMBINACION 3	18,4	0,0	0,0
	✓	M650-tfl 1	22,5	7: COMBINACION 3	99,0	0,0	0,0
	✓	M650-w 1	12,5	7: COMBINACION 3	148,7	0,0	0,0
	✓	FP1	12,0	7: COMBINACION 3	101,2	0,0	0,0

Datos de diseño

	Calidad	Fy [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
>	STEEL_36_KSI	248,3	5,0

AnalisisPlacasSoldadurasPandeo

Verificación de los elementos y placas de acero para los efectos de la carga extrema

	Estado	Ítem	Th\\ \ [mm]	Cargas	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{Pl}$ [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]
>	✓	M56-bfl 1	22,5	7: COMBINACION 3	148,7	0,0	0,0
	✓	M56-tfl 1	22,5	7: COMBINACION 3	148,8	0,0	0,0
	✓	M56-w 1	12,5	7: COMBINACION 3	149,1	0,2	0,0
	✓	M92-bfl 1	16,0	7: COMBINACION 3	93,9	0,0	0,0
	✓	M92-tfl 1	16,0	7: COMBINACION 3	94,1	0,0	0,0
	✓	M92-w 1	10,2	7: COMBINACION 3	148,9	0,1	0,0
	✓	M116-bfl 1	16,0	7: COMBINACION 3	97,9	0,0	0,0
	✓	M116-tfl 1	16,0	7: COMBINACION 3	106,3	0,0	0,0
	✓	M116-w 1	10,2	7: COMBINACION 3	150,6	1,0	0,0
	✓	FP1	12,0	7: COMBINACION 3	148,7	0,1	0,0
	✓	FP2	12,0	7: COMBINACION 3	95,7	0,0	0,0

Datos de diseño

	Calidad	Fy [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
>	STEEL_36_KSI	248,3	5,0

**Figura 49.** Verificación de todos los elementos de la conexión dado por el software Idea StatiCa.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.



La verificación general también presenta una tabla de soldaduras para los efectos de carga extrema (redistribución plástica) donde influyen el metal de aporte compatible, espesor del filete de soldadura, longitud de la soldadura, tamaño de soldadura, la longitud del elemento de soldadura más crítico, efecto de carga crítica, esfuerzos en el elemento de soldadura crítico, resistencia a cortante del elemento de soldadura crítica-AISC 360-16 J2.4 y el uso en porcentaje en la figura 50 se aprecia como todas las soldaduras de la conexión externa pasan todos estos parámetros y de igual forma en la figura 51 de la conexión interna.

Análisis	Placas	Soldaduras	Pandeo										
Verificación de soldaduras para los efectos de la carga extrema (Redistribución plástica)													
		Estado	Ítem	Borde	Xu	Th \\\ [mm]	Ls [mm]	L [mm]	Lc [mm]	Cargas	Fn [kN]	Rn/Ω \ [kN]	Ut [%]
>	+	✓	M650-tfl 1	FP1	E70xx	▲7,1	▲10,0	419	20	7 : COMBINACION 3	12,1	27,7	43,8
	+	✓	M650-tfl 1	M566-bfl 1	E70xx	▲7,1	▲10,0	200	20	7 : COMBINACION 3	16,1	28,7	55,8
	+	✓			E70xx	▲7,1	▲10,0	199	20	7 : COMBINACION 3	14,9	27,4	54,4
	+	✓	M650-tfl 1	M566-tfl 1	E70xx	▲7,1	▲10,0	199	20	7 : COMBINACION 3	13,8	27,1	51,1
	+	✓			E70xx	▲7,1	▲10,0	200	20	7 : COMBINACION 3	15,6	28,7	54,1
	+	✓	M566-w 1	FP1	E70xx	▲7,1	▲10,0	308	19	7 : COMBINACION 3	8,1	19,7	40,9
	+	✓	M566-w 1	FP1	E70xx	▲7,1	▲10,0	105	21	7 : COMBINACION 3	7,9	32,2	24,6
	+	✓	M566-w 1	FP1	E70xx	▲7,1	▲10,0	105	21	7 : COMBINACION 3	8,0	32,2	24,9
	+	✓	M650-tfl 1	M566-w 1	E70xx	▲7,1	▲10,0	8	8	7 : COMBINACION 3	0,9	12,0	7,7
	+	✓			E70xx	▲7,1	▲10,0	8	8	7 : COMBINACION 3	0,9	11,3	7,8
	+	✓	M650-tfl 1	M566-w 1	E70xx	▲7,1	▲10,0	426	20	7 : COMBINACION 3	10,9	21,7	50,4
	+	✓			E70xx	▲7,1	▲10,0	426	20	7 : COMBINACION 3	9,9	20,8	47,6
	+	✓	M650-tfl 1	M566-w 1	E70xx	▲7,1	▲10,0	8	8	7 : COMBINACION 3	0,9	12,0	7,8
	+	✓			E70xx	▲7,1	▲10,0	8	8	7 : COMBINACION 3	0,9	11,2	8,0

**Figura 50.** Verificación de soldaduras de la conexión de borde en el software Idea StatiCa.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

Análisis		Placas		Soldaduras		Pandeo	
----------	--	--------	--	------------	--	--------	--

Verificación de soldaduras para los efectos de la carga extrema (Redistribución plástica)

		Estado	Ítem	Borde	Xu	Th \\\ [mm]	Ls [mm]	L [mm]	Lc [mm]	Cargas	Fn [kN]	Rn/Ω \ [kN]	Ut [%]
>	+	✓	M56-bfl 1	FP1	E70xx	▲7,1	▲10,0	418	20	7 : COMBINACION 3	23,3	30,5	76,4
	+	✓	M92-w 1	FP1	E70xx	▲7,1	▲10,0	308	19	7 : COMBINACION 3	7,7	27,2	28,3
	+	✓	M92-w 1	FP1	E70xx	▲7,1	▲10,0	105	21	7 : COMBINACION 3	15,4	25,7	60,0
	+	✓	M92-w 1	FP1	E70xx	▲7,1	▲10,0	105	21	7 : COMBINACION 3	14,5	25,9	56,2
	+	✓	M56-tfl 1	FP2	E70xx	▲7,1	▲10,0	419	20	7 : COMBINACION 3	21,7	28,9	75,0
	+	✓	M116-w 1	FP2	E70xx	▲7,1	▲10,0	309	19	7 : COMBINACION 3	7,0	29,6	23,6
	+	✓	M116-w 1	FP2	E70xx	▲7,1	▲10,0	105	21	7 : COMBINACION 3	10,6	25,6	41,3
	+	✓	M116-w 1	FP2	E70xx	▲7,1	▲10,0	105	21	7 : COMBINACION 3	11,0	25,9	42,5
	+	✓	M56-bfl 1	M92-bfl 1	E70xx	▲7,1	▲10,0	199	20	7 : COMBINACION 3	24,8	30,5	81,2
	+	✓	M56-bfl 1	M92-tfl 1	E70xx	▲7,1	▲10,0	199	20	7 : COMBINACION 3	25,3	30,5	82,9
	+	✓	M56-bfl 1	M92-w 1	E70xx	▲7,1	▲10,0	8	8	7 : COMBINACION 3	9,9	12,3	80,6
	+	✓	M56-tfl 1	M116-bfl 1	E70xx	▲7,1	▲10,0	199	20	7 : COMBINACION 3	25,8	30,5	84,5
	+	✓	M56-tfl 1	M116-tfl 1	E70xx	▲7,1	▲10,0	199	20	7 : COMBINACION 3	25,8	30,5	84,6
	+	✓	M56-tfl 1	M116-w 1	E70xx	▲7,1	▲10,0	426	20	7 : COMBINACION 3	23,5	31,1	75,4

**Figura 51** Verificación de soldaduras de la conexión interna en el software Idea StatiCa.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

La verificación general presenta una tabla de pandeo local de la unión donde influyen la forma de pandeo y el factor de carga crítica, estos valores se obtienen bajo la normativa AISC 360-16 donde cumplen y no dan margen de error a la conexión como se ve en la figura 52 el factor de pandeo para cada conexión y en el lugar donde se realiza ya sea viga o columna.

Análisis	Placas	Soldaduras	Pandeo	Análisis	Placas	Soldaduras	Pandeo
----------	--------	------------	--------	----------	--------	------------	--------

**Pandeo local de la unión**

	Cargas	Forma	Factor
>	7 : COMBINACION 3	1	23,87
		2	25,32
		3	36,19
		4	40,18
		5	45,58
		6	48,35

**Pandeo local de la unión**

	Cargas	Forma	Factor
>	7 : COMBINACION 3	1	12,31
		2	20,49
		3	24,92
		4	25,62
		5	30,85
		6	31,82

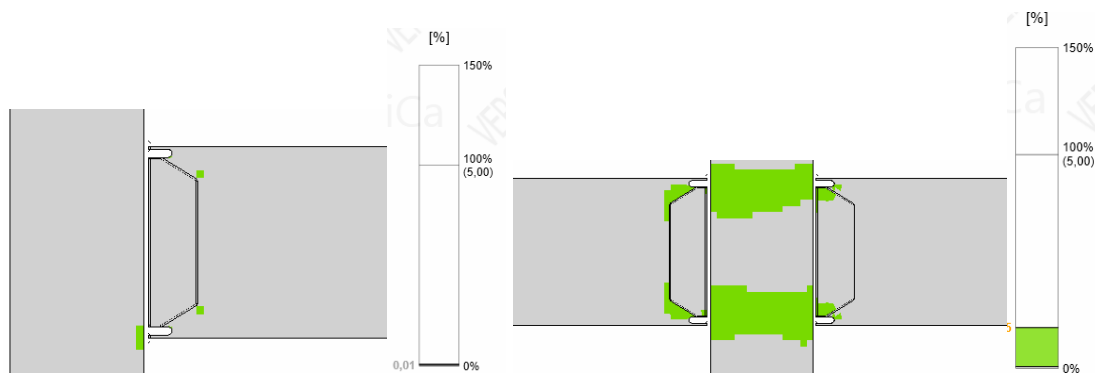
**Figura 52.** Verificación de pandeo en el software Idea StatiCa.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

#### 4.6.2 Verificación de la deformación

La verificación de la deformación tiene como principal objetivo representar la verificación de la deformación plástica equivalente para el caso de carga actual. La deformación plástica calculada ( $\sigma_y$ ) se compara con la deformación plástica límite ( $\varepsilon$ ).

En los miembros y sistemas las deformaciones deberán ser limitadas de forma que no se afecten las condiciones de servicio de la estructura [21].

Como se muestra en la figura 53 la deformación plástica equivalente para las conexiones interna y de borde, tienen un valor de 0.95 % y 0.01% respectivamente lo cual significa que esta adentro de los parámetros de la norma ya que si sobre pasa los 5% se consideraría falla, lo pintado de verde representa donde están ubicados los máximos esfuerzos que ese están produciendo si en el caso que fallara se pintarían de rojo y representaría que sobre paso los 5% que permite la norma.



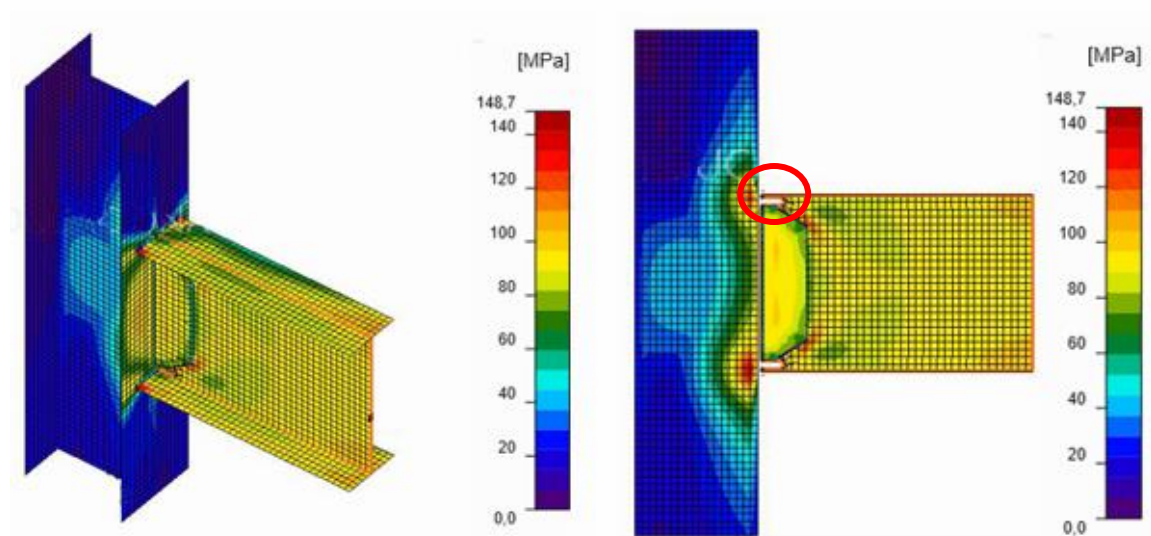
**Figura 53.** Verificación de la deformación de la conexión interna y de borde, software Idea StatiCa.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

#### 4.6.3 Tensión equivalente

La tensión equivalente tiene como principal objetivo representar mediante el uso de elementos finitos la tensión resultante para el caso de carga actual bajo la normativa AISC 360-16.

Como se muestra en la figura 54 se puede observar la tensión que sufren los elementos y la conexión la cual presenta una concentración de esfuerzos en la mitad de la placa de sujeción de la viga donde experimenta alrededor de 90 MPa en promedio. La columna presenta concentración de esfuerzos simétricos en el eje perpendicular con la viga el cual presenta un máximo de 130 MPa en los puntos de contacto de las alas superior e inferior de la viga.

Cabe recalcar que la mayor tensión en la viga se presenta en la zona cercana a los agujeros de acceso a la soldadura que se encuentran en las alas de la viga donde presenta un valor 130 MPa, el perfil de soldadura q se encuentra alrededor de la placa de sujeción presenta una menor tensión de 80 MPa en relación con la placa de sujeción.



**Figura 54.** Tensión equivalente de la conexión de borde en el software Idea StatiCa.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

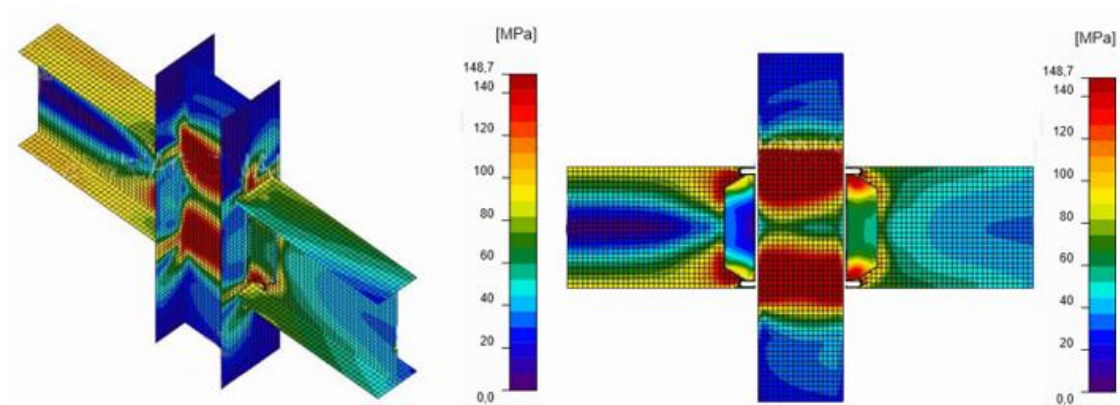
Como se muestra en la figura 55 se puede observar la tensión que sufren los elementos y la conexión la cual presenta una concentración de esfuerzos asimétricos en relación con la columna esto se debe a que los esfuerzos y momentos son totalmente distintos en ambas direcciones, la columna al estar en el primer nivel y al experimentar fuerzas y momentos presenta una tensión máxima de 148.7 MPa en los puntos donde conecta con los patines superiores e inferiores de las vigas.

La viga izquierda presenta una tensión totalmente definida en forma de flecha donde va desde los 20 MPa hasta los 148.7 MPa en forma asimétrica desde el eje perpendicular a la columna.

La placa de sujeción izquierda al estar conectado a la viga presenta una forma asimétrica desde el eje perpendicular a la columna que va desde los 20 MPa hasta los 90 MPa, el perfil de soldadura que se encuentra alrededor de la placa tiene un valor máximo de 70 MPa.

La viga derecha presenta una tensión totalmente definida en forma de parábola simétrica sobre el eje de la perpendicular de la columna que va desde los 30 MPa hasta los 130 MPa.

La placa de sujeción derecha al estar conectado a la viga presenta de igual manera una forma asimétrica desde el eje perpendicular a la columna que va desde los 50 MPa hasta los 148.7 MPa, el perfil de soldadura que se encuentra alrededor de la placa tiene un valor máximo de 90 MPa.



**Figura 55.** Tensión equivalente de la conexión interna en el software Idea StatiCa.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

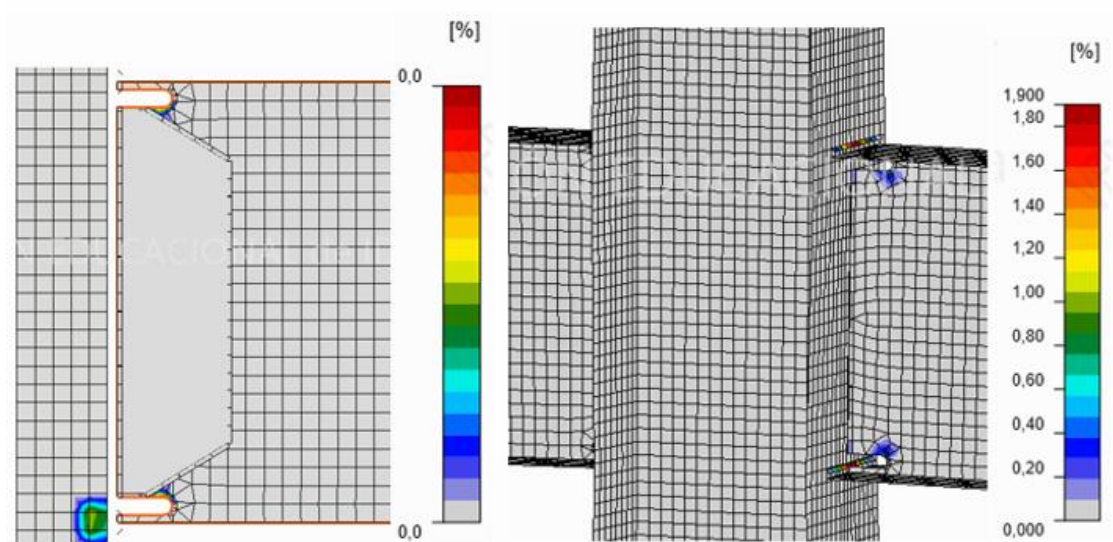
La tensión última elástica del acero A36 es de 248.3 MPa y en la simulación el valor máximo obtenido es 148.7 MPa lo que nos indica una tensión última del 60% de su capacidad para la combinación de carga más desfavorable en la conexión seleccionada.

#### 4.6.4 Deformación plástica

La deformación plástica tiene como principal objetivo representar la deformación plástica resultante para el caso de carga actual, bajo la normativa AISC 360-16.

En la figura 56 se muestra que la conexión de borde de la estructura no sufre un valor alto de deformación plástica por lo cual no nos brinda un valor de porcentaje ya que su valor es muy bajo en general de la deformación de toda la conexión, por otra parte en nuestra conexión interna de la estructura se observa que se produce mayor deformación plástica como se puede apreciar en las soldaduras que llegan a un valor de 1.8 % de deformación plástica ya que su valor es alto ya se puede apreciar los valores porcentuales de la deformación.



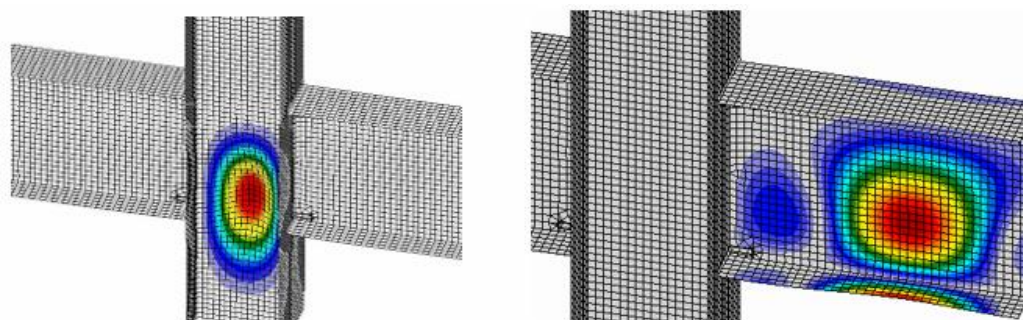


**Figura 56.** Deformación plástica de la conexión interna y de borde en el software Idea StatiCa.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

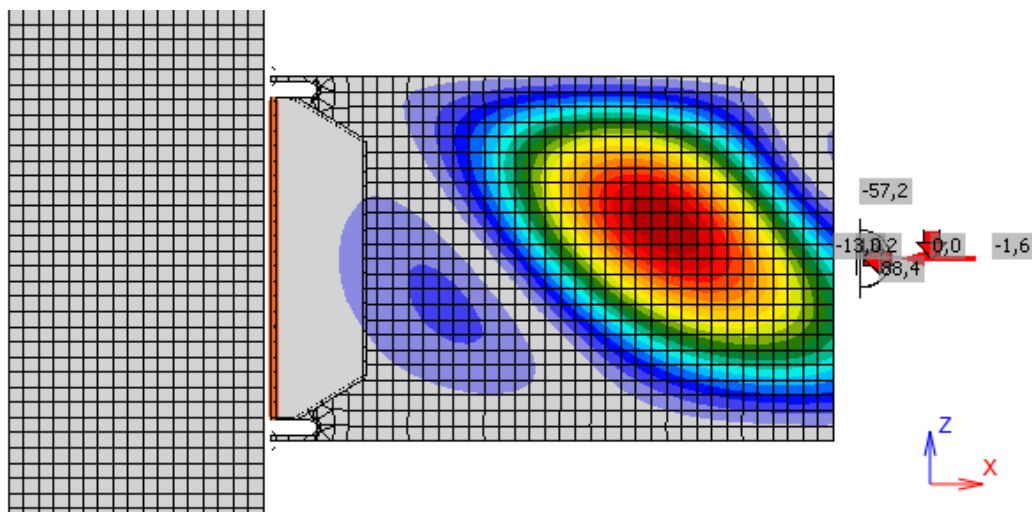
#### 4.6.5 Pandeo en viga y columna

Representa la forma de pandeo para el factor de carga crítica actual. Para elementos sometidos a compresión axial, las secciones se pueden clasificar como esbeltas y no esbeltas. Para miembros de sección no esbelta, la relación ancho-espesor de sus miembros sometidos a compresión no deben de exceder los valores  $\lambda_r$ , en la AISC 360-10 en la tabla B1A. 1a ya calculado anterior mente [21]. Si la relación ancho-espesor de los elementos en compresión superan el valor  $\lambda_r$  el elemento se considera esbelto, en el caso de la viga y columna de la estructura nos da un valor menor a los valores de la Tabla B4. por lo tanto, será no esbelta[21].

Se recomienda que el pandeo sea de un valor mayor de 10 como se muestra en la figura 57 y 58 el pandeo más bajo llega a un valor de 12.31 en la conexión interna y 23.87 en la conexión de borde, por lo tanto, pasa el criterio según la norma para estructuras metálicas, por lo cual no es un límite peligroso y no se necesitara rigidizadores.



**Figura 57.** Pandeo de la conexión interna en el software Idea StatiCa.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.



**Figura 58.** Pandeo de la conexión de borde en el software Idea StatiCa.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

#### 4.6.6 Configuración de la norma

El software Idea StatiCa al estar enlazado directamente con el software Staad Pro permite importar de manera eficiente las cargas esfuerzos momentos y normativa de diseño la cual en este caso es la AISC 360-16 y subapartado ASD, lo cual al momento de la simulación aplica todas las normativas sobre cada uno de los elementos y así poder evaluar un análisis de elementos finitos deseado y obtener valores para comparación de cálculo teórico, así como se muestra en la figura 59.

##### Configuración de la norma

Ítem	Valor	Unidad	Referencia
Coefficiente de fricción - hormigón	0,40	-	ACI 349 – B.6.1.4
Coefficiente de fricción en la resistencia a deslizamiento	0,30	-	AISC 360-16 J3.8
Deformación plástica límite	0,05	-	
Evaluación de la tensión de la soldadura	Redistribución plástica		
Detallado	No		
Distancia entre tornillos [d]	2,66	-	AISC 360-16 – J3.3
Distancia entre tornillos y el borde [d]	1,25	-	AISC 360-16 – J3.4
Resistencia al arrancamiento del cono de hormigón	Ambos		
Resistencia del metal base en la cara de fusión de la soldadura	No		AISC 360-16: J2-2
Hormigón fisurado	Sí		ACI 318-14 – Chapter 17
Comprobación de la deformación local	No		
Deformación límite local	0,03	-	CIDECT DG 1, 3 - 1.1
No linealidad geométrica (GMNA)	Sí		Grandes deformaciones para secciones huecas

**Figura 59.** Configuración de la norma software Idea StatiCa.  
Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

#### 4.7 Resumen de resultados

Los valores teóricos calculados son mayores, que los valores obtenidos mediante la simulación y análisis de elementos finitos como se aprecia en las tablas 23 y 24, ya que, los valores teóricos son los máximos a lo que pueden llegar las fuerzas y momentos en las conexiones de la estructura como son el momento máximo probable de la viga, cálculo de Von Mises, resistencia mínima de la soldadura, pandeo y la deformación de toda la conexión, por lo cual si uno de estos valores sobre pasaran los valores teóricos las conexiones de las estructuras llegaran a un fallo y así provocando realizar un nuevo análisis de estructura y conexión y llegar a una simulación que cumpla todos los parámetro como es en este caso que cumplen todos estos parámetros.

**Tabla 24.** Resultados de la conexión interna

Resumen de resultados para los componentes más críticos de la conexión interna		
Campo calculado	Teórico	Simulación
Momento Max. probable	$479047 \text{ N} \cdot \text{m}$	$47537.90 \text{ N} \cdot \text{m}$
Tensión de Von Mises	$248.3 \text{ MPa}$	$148.7 \text{ MPa}$
Resistencia mínima de soldadura	$771.966 \text{ kN}$	$641.773 \text{ kN}$
Pandeo o abolladura	10	12.31
Deformación de elementos	5%	0.95%

Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

**Tabla 25.** Resultados de la conexión de borde.

Resumen de resultados para los componentes más críticos de la conexión de borde		
Campo calculado	Teórico	Simulación
Momento Max probable	$479047 \text{ N} \cdot \text{m}$	$37901.65 \text{ N} \cdot \text{m}$
Tensión de Von Mises	$248.3 \text{ MPa}$	$148.7 \text{ MPa}$
Resistencia mínima de soldadura	$771.966 \text{ kN}$	$581.058 \text{ kN}$
Pandeo o abolladura	10	23.87
Deformación de elementos	5%	0.01%

Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.



#### 4.8 Evaluación del costo y tiempo en la elaboración de la conexión

La elaboración de la conexión depende del material y las horas hombre. El informe nos indica que el precio de la conexión de borde es \$57.14 y la de la conexión interna es \$76.48. En este análisis se realizará el costo horas hombre para la elaboración de la conexión diseñada. Como se muestra en la tabla 25.

**Tabla 26.** Tiempo empleado en la elaboración de la conexión

<b>Cant.</b>	<b>Detalle</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Total (min)</b>
2	Filetes en alas de viga	15,00	30,00
2	Agujeros de acceso	10,00	20,00
1	Placa de sujeción	40,00	40,00
1	Soldadura ala superior	5,00	5,00
1	Soldadura ala inferior	5,00	5,00
1	Soldadura placa de sujeción	8,00	8,00
1	Tiempos muertos	7,00	7,00
<b>Total</b>			<b>115,00</b>

Elaborado por: John Bautista & Bryan Chávez.

Para el cálculo de las horas hombre se emplea la siguiente ecuación:

$$Pc = ch * hh$$

Donde,

Pc: Precio de conexión

ch: Tiempo de elaboración de la conexión

hh: Precio hora de trabajo del operario

$$Pc = 115 \text{ min} * \frac{7.50 \$}{60 \text{ min}} = \$14,38$$

$$Pc = 230 \text{ min} * \frac{7.50 \$}{60 \text{ min}} = \$28,75$$

El costo de la elaboración de la conexión en horas hombre es de \$14,38, en el caso de la conexión de borde y la conexión interna es de \$ 28.76, cabe recalcar que la mano de obra de la conexión debe ser realizada por personal calificado.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- El diseño de la estructura de 6 niveles y 5 tramos se generó en el software Staad Pro, el cual permite simular los efectos de cargas vivas, permanentes y accidentales, basados en la normativa vigente NEC-2014 y AISC 360-16, se obtiene como resultado que los pórticos B y C son los más desfavorables para la conexión interna y de borde respectivamente, en las que se emplea el perfil HEB360 como columna y el IPE 500 como viga.
- El diseño de la conexión rígida interna y de borde responden a parámetros de la normativa NEC-2014 y AISC 360-16, la cual consiste en una placa de sujeción que se encuentra soldada al peralte de la viga y esta misma al patín columna además se refuerza esta conexión con la soldadura de las alas superior e inferior de la viga con el patín de la columna, lo que permite obtener una conexión rígida con una resistencia de 771.966 kN en la soldadura.
- Al momento de realizar la simulación por elementos finitos, el software Idea StatiCa realiza una verificación general de los parámetros y elementos de la conexión de borde diseñada. La cual nos da un resultado del 100% de análisis, 0.01% en la verificación de deformación de placas, 55.8% en esfuerzo de soldaduras y 23.87 en pandeo.
- Al momento de realizar la simulación por elementos finitos, el software Idea StatiCa realiza una verificación general de los parámetros y elementos de la conexión interna. La cual nos da un resultado del 100% de análisis, 1% en la verificación de deformación de placas, 84.6 % en esfuerzo de soldaduras y 12.31 en pandeo.
- El comportamiento estructural de la conexión interna y de borde mediante el software Idea StatiCa se pudo obtener que, la tensión equivalente en las vigas, columna y placas de sujeción es de 148.7 MPa en su punto máximo, esto representa una conexión que está muy por debajo de la tensión de límite elástico

del acero A-36 que es 248.3MPa, además de ser confiable para las características de la estructura.

### **Recomendaciones**

- Conocer de forma correcta todos los conceptos y criterios a tomar en cuenta de las normas y códigos locales para realizar el diseño de una estructura, ya que, el Ecuador está ubicado en una zona de alto riesgo de sismo y así llegar a un buen diseño estructural.
- Al realizar el diseño de la estructura de acero es recomendable, conocer todas las características de los elementos a seleccionar en este caso viga, columna y placa de sujeción, para obtener una conexión WUF-W y cumplir todos los parámetros de la norma AISC 358 que se necesita obtener para realizar este tipo de conexiones.
- Se recomienda diseñar la conexión con la placa de sujeción mediante soldaduras , ya que, al colocar pernos el precio de la fabricación subiría de precio y en este tipo de conexiones no es necesario el uso de pernos lo cual se vuelve una ventaja en costos para la conexión.
- Utilizar software recomendados y especializados para este tipo de simulaciones de conexiones y comportamientos de estructuras de acero así poder adquirir resultados más exactos al momento de realizar el análisis de elementos finitos.
- Tener los conocimientos necesarios para el manejo del software Staad Pro e Idea StatiCa al momento de realizar el diseño de pórtico y conexión, puesto que se tiene que verificar que todos los elementos estén conectados correctamente y cargadas las fuerzas de manera correcta para evitar criterios o fallas críticas no deseadas.
- Se recomienda estudiar la posibilidad de rehacer esta investigación considerando el empleo de acero estructural A-50, así se podrá evaluar la probabilidad de disminuir el tamaño de los perfiles.

## REFERENCIAS

- [1] M. I. F. Díaz, D. E. L. Castillo, and M. I. A. R. Solís, “Aceros, Estructuras Y Tratamientos Térmicos,” p. 159, 2012.
- [2] I. J. L. M. Flores, “Aceros y sus Aplicaciones,” p. 142, 1996.
- [3] J. E. Bowles, *Diseño De Acero Estructural*, Book, McGr. México, 1993.
- [4] PLANES, “El laminado en frío y en caliente: diferencias y ventajas,” 2018. [Online]. Available: <https://ferrospanes.com/laminado-en-frio-en-caliente-ventajas/>. [Accessed: 09-Aug-2021].
- [5] R. L. Brockenbrough and F. S. Merritt, *Structural Steel Designer’s Handbook*, McGRAW-HIL. United States of America, 2006.
- [6] J. C. McCormac and S. F. Csernak, *Diseño de Estructuras de Acero*, S.A de C.V., vol. 5. México, 2013.
- [7] A. Gavidia and A. Subia, “ELABORACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE FABRICACIÓN Y MONTAJE DE UNA ESTRUCTURA DE ACERO PARA UN EDIFICIO TIPO,” p. 5, 2015.
- [8] AHMSA, “Manual de Diseño para la Construcción con Acero,” *Altos Hornos de Méjico*, pp. 1–31, 2013.
- [9] K. Espinoza and E. Pazmiño, “Evaluación experimental de las propiedades mecánicas de los aceros estructurales, A-36, A-572 y A-588, para la obtención de los diagramas de esferzo-deformación.,” p. 52, 2019.
- [10] MIDUVI, “NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN – Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda,” 2015. [Online]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>. [Accessed: 28-Jun-2021].
- [11] M. de D. U. y V. MIDUVI and C. de la I. de la C. CAMICON, “Norma NEC-SE-CG Cargas (No Sísmicas),” *Nec*, vol. Capítulo 1, p. 32, 2015.
- [12] J. Farkas and K. Jármai, “Norma NEC-SE-DS Cargas (Sísmicas),” *Des. Optim. Met. Struct.*, p. 73, 2008.
- [13] MIDUVI and CAMICON, “Norma NEC-SE-AC (Estructuras de acero),” p. 122, 2015.
- [14] S. Browen, “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA CONEXIÓN VIGA COLUMNA PRECALIFICADA DE ALA SOLDADA SIN REFUERZO Y ALMA SOLDADA (WUF-W) EN UN EDIFICIO DE ESTRUCTURA

- METÁLICA,” p. 17, 2020.
- [15] S. Oquendo, “Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito,” *Tesis*, pp. 1–63, 2016.
  - [16] A. I. of S. C.- AISC, “Norma Americana original: ANSI/AISC 358-16/358s1-18 ‘Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications,’” vol. 4, p. 128, 2000.
  - [17] P. V. Colimba and F. I. Choca, “Diseño estructural de un edificio de 4 pisos en acero para proyecto de vivienda masivo,” p. 19, 2016.
  - [18] NEC, “Guía prácticas para el diseño de estructuras de acero de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015,” *Estructuras de acero*, vol. 1, p. 52, 2015.
  - [19] “Import Aceros.” [Online]. Available: <https://www.importaceros.com/>. [Accessed: 27-Jun-2021].
  - [20] “Novacero-Ecuador.” [Online]. Available: <https://www.novacero.com/>. [Accessed: 27-Jun-2021].
  - [21] Asociación Latinoamericana del Acero, “Especificación para Construcciones de Acero,” *Am. Inst. Steel Constr. ANSI/AISC 360-16*, pp. 3–308, 2016.
  - [22] “Enlace BIM STAAD.Pro | ESTADÍSTICA DE IDEA.” [Online]. Available: <https://www.ideastatica.com/bim/staad-pro>. [Accessed: 25-Jun-2021].

## ANEXOS

Proyecto: IdeaStatiCa-Structure1 - Con 277  
 Proyecto nº:  
 Autor:



### Datos del proyecto

Nombre del proyecto: IdeaStatiCa-Structure1 - Con 277  
 Número del Proyecto:  
 Autor:  
 Descripción:  
 Fecha: 26/06/2021  
 Normativa de cálculo: AISC 360-16

### Material

Acero: STEEL\_36\_KSI

### Elementos estructurales

Nombre	Sección transversal	$\beta$ - Dirección [°]	$\gamma$ - Inclinación [°]	$\alpha$ - Rotación [°]	Desplazamiento $e_x$ [mm]	Desplazamiento $e_y$ [mm]	Desplazamiento $e_z$ [mm]	Fuerzas en
M566	1 - IPE500	0,0	0,0	0,0	0	0	0	Posición
M650	2 - HEB360	0,0	0,0	0,0	0	0	0	Posición



### Secciones

Nombre	Material
1 - IPE500	STEEL_36_KSI
2 - HEB360	STEEL_36_KSI

### Cargas (Fuerzas en equilibrio)

Nombre	Elemento	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
7 : COMBINACION 3	M566	-1,6	13,2	-57,2	0,0	88,4	-13,0
	M650	-132,7	1,9	-8,3	0,0	18,9	-4,9
	M650	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Proyecto: IdeaStatiCa-Structure1 - Con 277  
 Proyecto nº:  
 Autor:



## Verificación

### Resumen

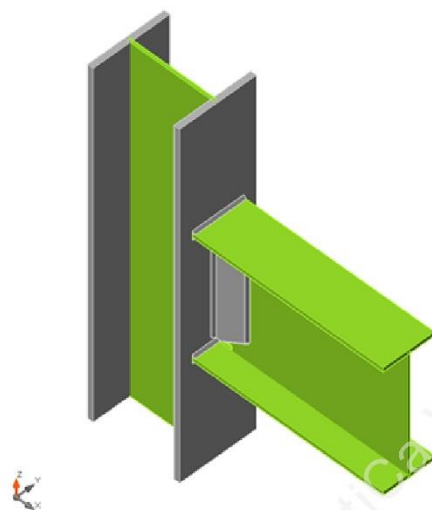
Nombre	Valor	Estado de la verificación
Análisis	100,0%	OK
Placas	0,0 < 5,0%	OK
Soldaduras	55,8 < 100%	OK
Pandeo	No calculado	

### Placas

Nombre	F <sub>y</sub> [MPa]	Espesor [mm]	Cargas	σ <sub>Ed</sub> [MPa]	ε <sub>pI</sub> [%]	σ <sub>CEd</sub> [MPa]	Estado de la verificación
M566-bfl 1	248,3	16,0	7 : COMBINACION 3	140,2	0,0	0,0	OK
M566-tfl 1	248,3	16,0	7 : COMBINACION 3	139,1	0,0	0,0	OK
M566-w 1	248,3	10,2	7 : COMBINACION 3	148,7	0,0	0,0	OK
M650-bfl 1	248,3	22,5	7 : COMBINACION 3	18,4	0,0	0,0	OK
M650-tfl 1	248,3	22,5	7 : COMBINACION 3	99,0	0,0	0,0	OK
M650-w 1	248,3	12,5	7 : COMBINACION 3	148,7	0,0	0,0	OK
FP1	248,3	12,0	7 : COMBINACION 3	101,2	0,0	0,0	OK

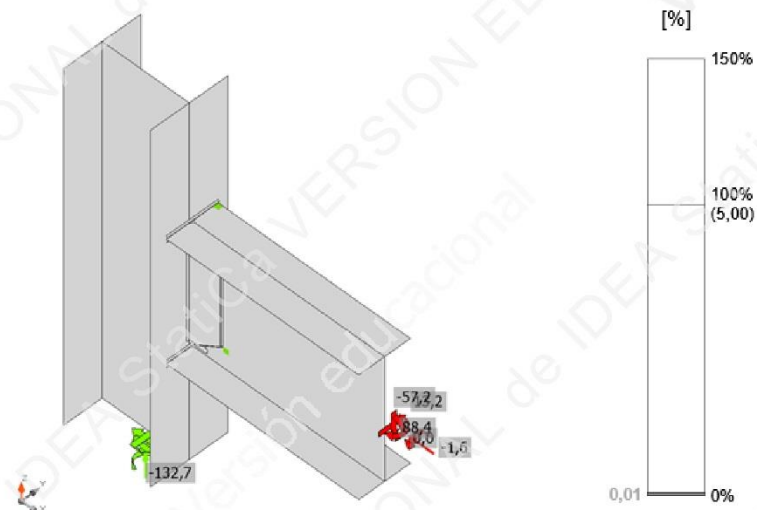
### Datos de diseño

Material	f <sub>y</sub> [MPa]	ε <sub>lim</sub> [%]
STEEL_36_KSI	248,3	5,0

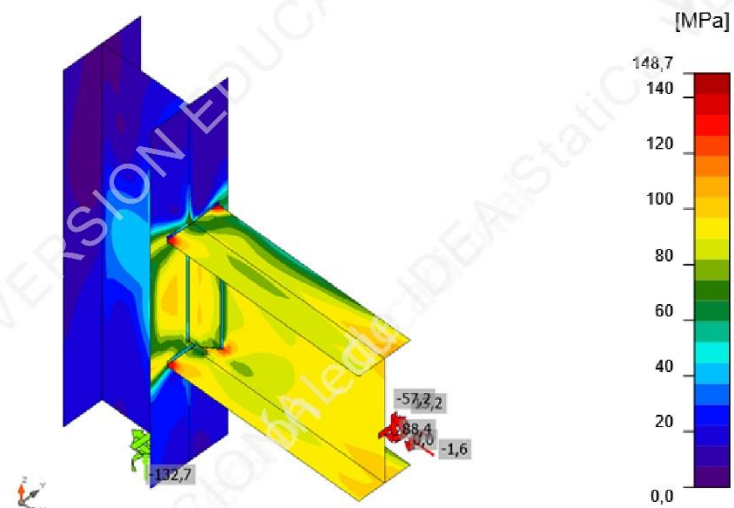


Verificación general, 7 : COMBINACION 3

Proyecto: IdeaStatiCa-Structure1 - Con 277  
 Proyecto nº:  
 Autor:



Verificación de deformación, 7 : COMBINACION 3



Tensión equivalente, 7 : COMBINACION 3



Proyecto: IdeaStatiCa-Structure1 - Con 277

Proyecto nº:

Autor:



## Soldaduras

Ítem	Borde	Xu	T <sub>h</sub> [mm]	L <sub>s</sub> [mm]	L [mm]	L <sub>c</sub> [mm]	Cargas	F <sub>n</sub> [kN]	R <sub>n</sub> /Ω [kN]	Ut [%]	Estado
M650-tfl 1	FP1	E70xx	▲7,1	▲10,0	419	20	7 : COMBINACION 3	12,1	27,7	43,8	OK
M650-tfl 1	M566-bfl 1	E70xx	▲7,1	▲10,0	200	20	7 : COMBINACION 3	16,1	28,7	55,8	OK
		E70xx	▲7,1	▲10,0	199	20	7 : COMBINACION 3	14,9	27,4	54,4	OK
M650-tfl 1	M566-tfl 1	E70xx	▲7,1	▲10,0	199	20	7 : COMBINACION 3	13,8	27,1	51,1	OK
		E70xx	▲7,1	▲10,0	200	20	7 : COMBINACION 3	15,6	28,7	54,1	OK
M650-tfl 1	M566-w 1	E70xx	▲7,1	▲10,0	8	8	7 : COMBINACION 3	0,9	12,0	7,7	OK
		E70xx	▲7,1	▲10,0	8	8	7 : COMBINACION 3	0,9	11,3	7,8	OK
M566-w 1	FP1	E70xx	▲7,1	▲10,0	308	19	7 : COMBINACION 3	8,1	19,7	40,9	OK
M566-w 1	FP1	E70xx	▲7,1	▲10,0	105	21	7 : COMBINACION 3	7,9	32,2	24,6	OK
M566-w 1	FP1	E70xx	▲7,1	▲10,0	105	21	7 : COMBINACION 3	8,0	32,2	24,9	OK
M650-tfl 1	M566-w 1	E70xx	▲7,1	▲10,0	426	20	7 : COMBINACION 3	10,9	21,7	50,4	OK
		E70xx	▲7,1	▲10,0	426	20	7 : COMBINACION 3	9,9	20,8	47,6	OK
M650-tfl 1	M566-w 1	E70xx	▲7,1	▲10,0	8	8	7 : COMBINACION 3	0,9	12,0	7,8	OK
		E70xx	▲7,1	▲10,0	8	8	7 : COMBINACION 3	0,9	11,2	8,0	OK

### Resultado detallado para M650-tfl 1 / FP1 - 1

Comprobación de la resistencia de la soldadura (AISC 360-16: J2-4)

$$\frac{R_n}{\Omega} = \frac{F_{nw} \cdot A_{we}}{\Omega} = 27,7 \text{ kN} \geq F_n = 12,1 \text{ kN}$$

Donde:

$F_{nw} = 392,2 \text{ MPa}$  – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0,6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0,5 \cdot \sin^{1,5} \theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} = 482,6 \text{ MPa}$  – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta = 52,7^\circ$  – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} = 141 \text{ mm}^2$  – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\Omega = 2,0$  – factor de seguridad para cordones de soldadura

Proyecto: IdeaStatiCa-Structure1 - Con 277  
 Proyecto nº:  
 Autor:



#### Resultado detallado para M650-tfl 1 / M566-w 1 - 2

#### Comprobación de la resistencia de la soldadura (AISC 360-16: J2-4)

$$\frac{R_n}{\Omega} = \frac{F_{nw} \cdot A_{we}}{\Omega} = 11,2 \text{ kN} \geq F_n = 0,9 \text{ kN}$$

Donde:

$F_{nw} = 394,6 \text{ MPa}$  – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0,6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0,5 \cdot \sin^{1,5} \theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} = 482,6 \text{ MPa}$  – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta = 53,8^\circ$  – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} = 57 \text{ mm}^2$  – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\Omega = 2,0$  – factor de seguridad para cordones de soldadura

#### Pandeo

El análisis de pandeo no se ha calculado.

#### Estimación de coste

##### Acero

Calidad del acero	Peso total [kg]	Coste Unitario [US\$/kg]	Coste [US\$]
STEEL_36_KSI	4,28	2,50	10,70

##### Tornillos

Conjunto de tornillo	Peso total [kg]	Coste Unitario [US\$/kg]	Coste [US\$]

##### Soldaduras

Tipo de soldadura	Espesor de garganta [mm]	Tamaño de pierna [mm]	Peso total [kg]	Coste Unitario [US\$/kg]	Coste [US\$]
Cordón	7,1	10,0	0,83	45,00	37,23
Cordón	7,1	10,0	0,20	45,00	9,20

##### Perforación de agujeros

Coste del montaje de los tornillos [US\$]	Porcentaje del costo de montaje del perno [%]	Coste [US\$]

##### Resumen de coste

Resumen de la estimación de coste	Coste [US\$]
Coste total estimado	57,14

Proyecto: IdeaStatiCa-Structure1 - Con 277

Proyecto nº:

Autor:



## Listado de material

### Operaciones

Nombre	Placas [mm]	Forma	Nº	Soldaduras [mm]	Longitud [mm]	Tornillos	Nº
FP1	P12,0x120,0-420,0 (STEEL_36_KSI)		1	tendón de soldadura simple: a = 7,1	420,0		
CUT1				Doble tendón de soldadura: a = 7,1	844,0		
ABR1	P10,2x745,0-484,0 (STEEL_36_KSI)		1				
ABR2	P10,2x745,0-484,0 (STEEL_36_KSI)		1				

### Soldaduras

Tipo	Material	Espesor de garganta [mm]	Tamaño de pierna [mm]	Longitud [mm]
tendón de soldadura simple	E70xx	7,1	10,0	941,0
Doble tendón de soldadura	E70xx	7,1	10,0	844,0

Ítem	Valor	Unidad	Referencia
Deformación plástica límite	0,05	-	
Evaluación de la tensión de la soldadura	Redistribución plástica		
Detallado	No		
Distancia entre tornillos [d]	2,66	-	AISC 360-16 – J3.3
Distancia entre tornillos y el borde [d]	1,25	-	AISC 360-16 – J3.4
Resistencia al arrancamiento del cono de hormigón	Ambos		
Resistencia del metal base en la cara de fusión de la soldadura	No		AISC 360-16: J2-2
Hormigón fisurado	Si		ACI 318-14 – Chapter 17
Comprobación de la deformación local	No		
Deformación límite local	0,03	-	CIDECT DG 1, 3 - 1.1
No linealidad geométrica (GMNA)	Si		Grandes deformaciones para secciones huecas

Proyecto: IdeaStatiCa-Structure1 - Con 42  
 Proyecto nº:  
 Autor:



## Datos del proyecto

Nombre del proyecto: IdeaStatiCa-Structure1 - Con 42  
 Número del Proyecto:  
 Autor:  
 Descripción:  
 Fecha: 25/06/2021  
 Normativa de cálculo: AISC 360-16

## Material

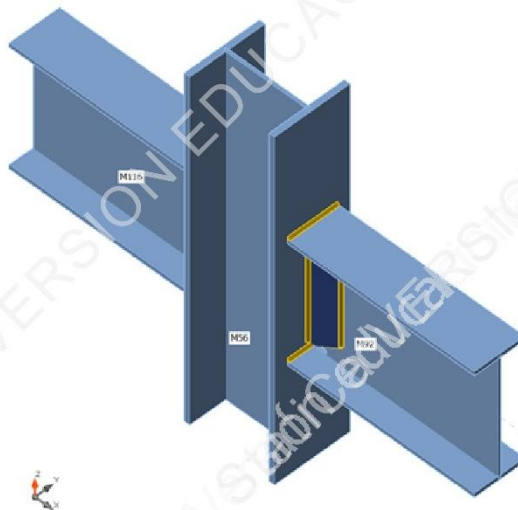
Acero: STEEL\_36\_KSI

## Diseño

Nombre: Con 42  
 Descripción:  
 Análisis: Tensión, deformación/ Cargas en equilibrio  
 Normativa de cálculo: AISC - ASD 2016

## Elementos estructurales

Nombre	Sección transversal	$\beta$ - Dirección [°]	$\gamma$ - Inclinación [°]	$\alpha$ - Rotación [°]	Desplazamiento ex [mm]	Desplazamiento ey [mm]	Desplazamiento ez [mm]	Fuerzas en
M56	2 - HEB360	0,0	0,0	0,0	0	0	0	Posición
M92	1 - IPE500	0,0	0,0	0,0	0	0	0	Posición
M116	1 - IPE500	0,0	0,0	0,0	0	0	0	Posición



## Secciones

Nombre	Material
2 - HEB360	STEEL_36_KSI
1 - IPE500	STEEL_36_KSI

Proyecto: IdeaStatiCa-Structure1 - Con 42

Proyecto nº:

Autor:



### Cargas (Fuerzas en equilibrio)

Nombre	Elemento	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
7 : COMBINACION 3	M56	680,0	-10,5	89,5	0,0	-116,3	17,6
	M92	3,0	1,3	-90,9	0,0	159,4	-2,1
	M116	0,8	-1,5	8,3	0,0	-176,4	1,6
	M56	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

### Verificación

#### Resumen

Nombre	Valor	Estado de la verificación
Análisis	100,0%	OK
Placas	1,0 < 5,0%	OK
Soldaduras	84,6 < 100%	OK
Pandeo	No calculado	

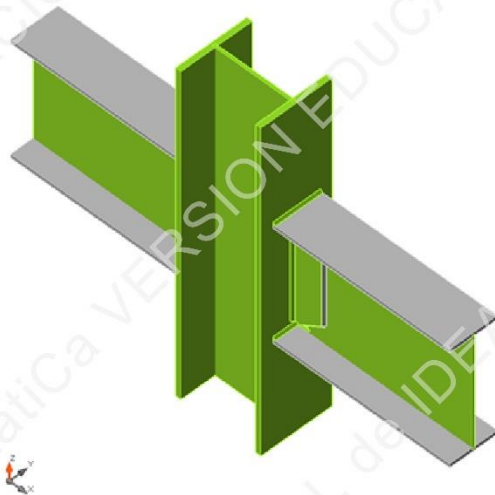
#### Placas

Nombre	F <sub>y</sub> [MPa]	Espesor [mm]	Cargas	σ <sub>Ed</sub> [MPa]	ε <sub>p1</sub> [%]	σ <sub>CEd</sub> [MPa]	Estado de la verificación
M56-bfl 1	248,3	22,5	7 : COMBINACION 3	148,7	0,0	0,0	OK
M56-tfl 1	248,3	22,5	7 : COMBINACION 3	148,8	0,0	0,0	OK
M56-w 1	248,3	12,5	7 : COMBINACION 3	149,1	0,2	0,0	OK
M92-bfl 1	248,3	16,0	7 : COMBINACION 3	93,9	0,0	0,0	OK
M92-tfl 1	248,3	16,0	7 : COMBINACION 3	94,1	0,0	0,0	OK
M92-w 1	248,3	10,2	7 : COMBINACION 3	148,9	0,1	0,0	OK
M116-bfl 1	248,3	16,0	7 : COMBINACION 3	97,9	0,0	0,0	OK
M116-tfl 1	248,3	16,0	7 : COMBINACION 3	106,3	0,0	0,0	OK
M116-w 1	248,3	10,2	7 : COMBINACION 3	150,6	1,0	0,0	OK
FP1	248,3	12,0	7 : COMBINACION 3	148,7	0,1	0,0	OK
FP2	248,3	12,0	7 : COMBINACION 3	95,7	0,0	0,0	OK

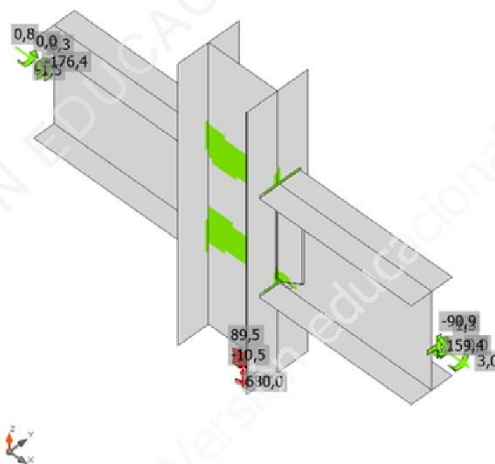
#### Datos de diseño

Material	f <sub>y</sub> [MPa]	ε <sub>lim</sub> [%]
STEEL_36_KSI	248,3	5,0

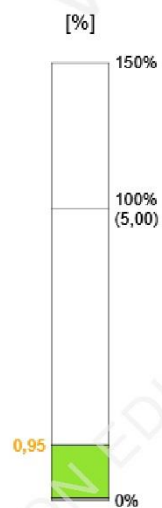
Proyecto: IdeaStatiCa-Structure1 - Con 42  
 Proyecto nº:  
 Autor:



Verificación general, 7 : COMBINACION 3



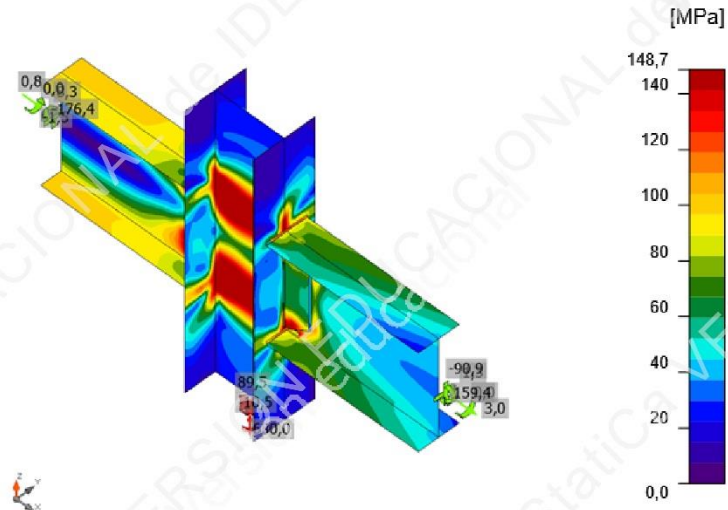
Verificación de deformación, 7 : COMBINACION 3



Proyecto: IdeaStatiCa-Structure1 - Con 42

Proyecto nº:

Autor:



Tensión equivalente, 7 : COMBINACION 3

#### Soldaduras

Ítem	Borde	Xu	T <sub>h</sub> [mm]	L <sub>s</sub> [mm]	L [mm]	L <sub>c</sub> [mm]	Cargas	F <sub>n</sub> [kN]	R <sub>n</sub> /Ω [kN]	U <sub>t</sub> [%]	Estado
M56-bfl 1	FP1	E70xx	▲7,1	▲10,0	418	20	7 : COMBINACION 3	23,3	30,5	76,4	OK
M92-w 1	FP1	E70xx	▲7,1	▲10,0	308	19	7 : COMBINACION 3	7,7	27,2	28,3	OK
M92-w 1	FP1	E70xx	▲7,1	▲10,0	105	21	7 : COMBINACION 3	15,4	25,7	60,0	OK
M92-w 1	FP1	E70xx	▲7,1	▲10,0	105	21	7 : COMBINACION 3	14,5	25,9	56,2	OK
M56-tfl 1	FP2	E70xx	▲7,1	▲10,0	419	20	7 : COMBINACION 3	21,7	28,9	75,0	OK
M116-w 1	FP2	E70xx	▲7,1	▲10,0	309	19	7 : COMBINACION 3	7,0	29,6	23,6	OK
M116-w 1	FP2	E70xx	▲7,1	▲10,0	105	21	7 : COMBINACION 3	10,6	25,6	41,3	OK
M116-w 1	FP2	E70xx	▲7,1	▲10,0	105	21	7 : COMBINACION 3	11,0	25,9	42,5	OK
M56-bfl 1	M92-bfl 1	E70xx	▲7,1	▲10,0	199	20	7 : COMBINACION 3	24,8	30,5	81,2	OK
M56-bfl 1	M92-tfl 1	E70xx	▲7,1	▲10,0	199	20	7 : COMBINACION 3	25,3	30,5	82,9	OK
M56-bfl 1	M92-w 1	E70xx	▲7,1	▲10,0	8	8	7 : COMBINACION 3	9,9	12,3	80,6	OK
M56-tfl 1	M116-bfl 1	E70xx	▲7,1	▲10,0	199	20	7 : COMBINACION 3	25,8	30,5	84,5	OK
M56-tfl 1	M116-tfl 1	E70xx	▲7,1	▲10,0	199	20	7 : COMBINACION 3	25,8	30,5	84,6	OK
M56-tfl 1	M116-w 1	E70xx	▲7,1	▲10,0	426	20	7 : COMBINACION 3	23,5	31,1	75,4	OK



### Pandeo

El análisis de pandeo no se ha calculado.

### Estimación de coste

#### Acero

Calidad del acero	Peso total [kg]	Coste Unitario [US\$/kg]	Coste [US\$]
STEEL_36_KSI	8,56	2,50	21,41

#### Tornillos

Conjunto de tornillo	Peso total [kg]	Coste Unitario [US\$/kg]	Coste [US\$]

#### Soldaduras

Tipo de soldadura	Espesor de garganta [mm]	Tamaño de pierna [mm]	Peso total [kg]	Coste Unitario [US\$/kg]	Coste [US\$]
Cordón	7,1	10,0	1,22	45,00	55,07

#### Perforación de agujeros

Coste del montaje de los tornillos [US\$]	Porcentaje del costo de montaje del perno [%]	Coste [US\$]

#### Resumen de coste

Resumen de la estimación de coste	Coste [US\$]
Coste total estimado	76,48

Ítem	Valor	Unidad	Referencia
Deformación plástica límite	0,05	-	
Evaluación de la tensión de la soldadura	Redistribución plástica		
Detallado	No		
Distancia entre tornillos [d]	2,66	-	AISC 360-16 – J3.3
Distancia entre tornillos y el borde [d]	1,25	-	AISC 360-16 – J3.4
Resistencia al arrancamiento del cono de hormigón	Ambos		
Resistencia del metal base en la cara de fusión de la soldadura	No		AISC 360-16: J2-2
Hormigón fisurado	Si		ACI 318-14 – Chapter 17
Comprobación de la deformación local	No		
Deformación límite local	0,03	-	CIDECT DG 1, 3 - 1.1
No linealidad geométrica (GMNA)	Si		Grandes deformaciones para secciones huecas



Proyecto: IdeaStatiCa-Structure1 - Con 42  
 Proyecto nº:  
 Autor:



## Listado de material

### Operaciones

Nombre	Placas [mm]	Forma	Nº	Soldaduras [mm]	Longitud [mm]	Tornillos	Nº
FP1	P12,0x120,0-420,0 (STEEL_36_KSI)		1	tendón de soldadura simple: a = 7,1	420,0		
CUT1							
ABR1	P10,2x745,0-484,0 (STEEL_36_KSI)		1				
ABR2	P10,2x745,0-484,0 (STEEL_36_KSI)		1				
FP2	P12,0x120,0-420,0 (STEEL_36_KSI)		1	tendón de soldadura simple: a = 7,1	420,0		
CUT2							
ABR3	P10,2x745,0-484,0 (STEEL_36_KSI)		1				
ABR4	P10,2x745,0-484,0 (STEEL_36_KSI)		1				

### Soldaduras

Tipo	Material	Espesor de garganta [mm]	Tamaño de pierna [mm]	Longitud [mm]
tendón de soldadura simple	E70xx	7,1	10,0	3117,9

# NOVALOSA 55

## NORMAS TÉCNICAS:

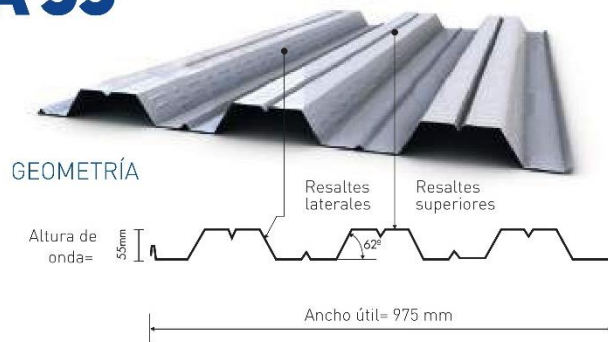
NTE INEN 2397  
ASTM A653  
ANSI/ASCE 3-91

## LONGITUDES:

4, 5 y 6 metros en stock  
Otras longitudes bajo pedido

## RECUBRIMIENTO:

Galvanizado G90



Propiedades de la Sección Simple Novalosa 55 mm					
Espesor Novalosa (mm)	Peso (kg/m <sup>2</sup> )	Ie+ (cm <sup>4</sup> /m)	Se+ (cm <sup>3</sup> /m)	Se- (cm <sup>3</sup> /m)	As (cm <sup>2</sup> /m)
0,76	7,47	36,89	11,46	12,81	9,03
1,00	9,82	52,38	16,76	18,84	12,02

## USO DEL PRODUCTO:

Sistema de losa alivianada para: entrepisos de estructuras metálicas, entrepisos de sistemas mixtos con una estructura principal de hormigón y vigas secundarias metálicas.

## PLANCHAS

### LAMINADAS AL CALIENTE

#### Especificaciones Generales:

<b>Norma:</b>	NTE INEN 115
<b>Espesores:</b>	ASTM A36 - SAE J 403 1008
<b>Espesores:</b>	2mm a 12mm
<b>Rollos:</b>	Ancho 1000, 1220, 1500mm
<b>Planchas:</b>	4 x 8 pies y medidas especiales
<b>Acabado:</b>	Acero Negro



#### Calidad Comercial

Calidad	Composición Química							Propiedades Mecánicas			
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%AL	%CU	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	Norma Equivalente
JIS G3131 SPHC	0,08 0,13	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,05 max	0,02 0,08	0,2 max	270 min	29 min	0= Oe	SAE 1010 ASTM A-569
SAE 1008	0,03 0,1	0,25 0,5	0,02 max	0,025 max	0,04 max	0,02 0,08	0,2 max				JIS G3132 SPHT1
SAE 1012	0,1 0,15	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,03 max	0,02 0,08	0,2 max				ASTM A-635 ASTM A-570 GRADO 33

#### Calidad Estructural

Norma	Composición Química							Propiedades Mecánicas				
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%CU	OTROS	Fluencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	Norma Equivalente
ASTM A-588M Grado A	0,19 max	0,8 1,25	0,04 max	0,05 max	0,3 0,6	0,25 0,40	Ni 0,15-0,35 Cr 0,40-0,65 V 0,02-0,10	345 min	485 min	18 min		
ASTM A-283 Grado C	0,12 0,18	0,3 0,6	0,025 max	0,03 max	0,04 max	0,2 max		205 min	380 516 max	25 min	0=1,5e	SAE 1015
JIS G-3101 5541 M	0,17 0,23	0,3 0,6	0,025 max	0,025 max	0,04 max	0,25 max		250 min	400 min 550 max	21 min		SAE 1020 ASTM A-36 ASTM A-570 GRADO 36
A 36	0,25 0,29	0,80 1,2	0,04 max	0,05 max	0,4 max	0,20 max		250 min	400 min 550 max	20 min		
A570-GR50	0,25	1,35 max	0,035 max	0,04 max				340 min	450 min 550 max	17 min	1-1/2e	

**FICHA DE PRODUCTO**

Fecha de descarga: 21-07-2021



Electrodos

**INDURA 7018-AR**

CÓDIGO SAP AP: 2001300

**Solo Cotización**

\*Producto sujeto a disponibilidad de stock

**INFORMACIÓN TÉCNICA**

**Característica**

**Detalle**

**Seguridad**

Para soldaduras de filetes horizontales y trabajo de soldadura en sentido vertical descendente, debe usarse un arco corto. No se recomienda la técnica de arrastre. En la soldadura en posición sobrecabeza debe usarse un arco corto con ligero movimiento oscilatorio en la dirección de avance. Debe evitarse la oscilación brusca del electrodo.

**Composición química típica del metal depositado**

C 0,09%; Mn 1,05%; Si 0,55%; P 0,020%; S 0,015%

**Formato**

Envase de 1 Kg.

Composición química (típica) del metal depositado:

C 0,09%; Mn 1,05%; Si 0,55%; P 0,020%; S 0,015%

Características típicas del metal depositado (según norma AWS: A5.1/A5.1M-04):

Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte	Requerimientos	Energía Absorbida Ch-v	Requerimientos
Resistencia a la tracción : 572 MPa	490 MPa	135J a -30°C	27J a -30°C
Límite de fluencia : 475 MPa	400 MPa		
Alargamiento en 50 mm : 31%	22%		

Amperajes recomendados:

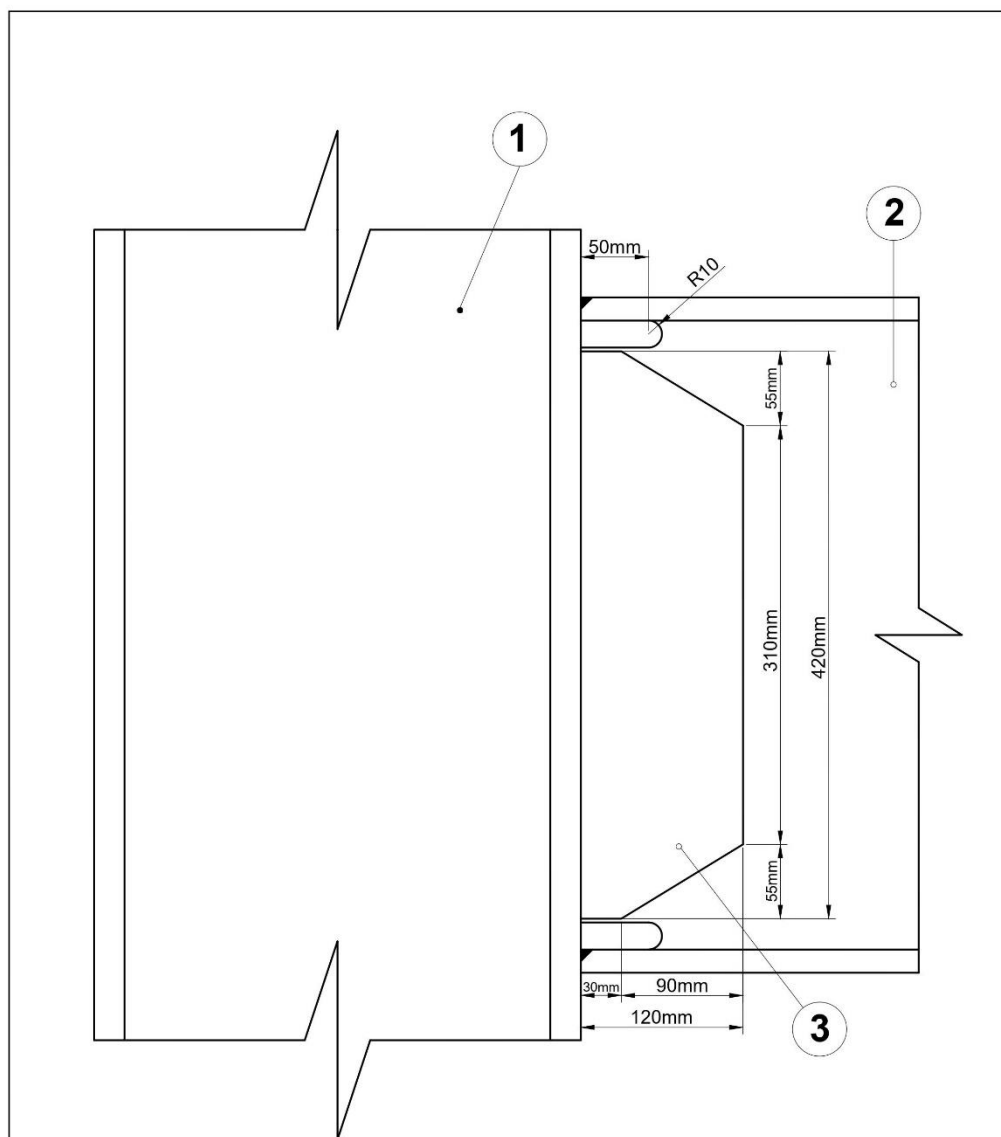
Diámetro mm	Longitud mm	mín.	Amperaje máx.	Electrodos x kg aprox.
2,4	300	60	110	52
3,2	350	100	160	26
4,0	350	130	210	19
4,8	350	190	280	14

**Ecuador** Casa Matriz:  
Edificio River Plaza 6to. Piso Km 13.5 Av. León Febres

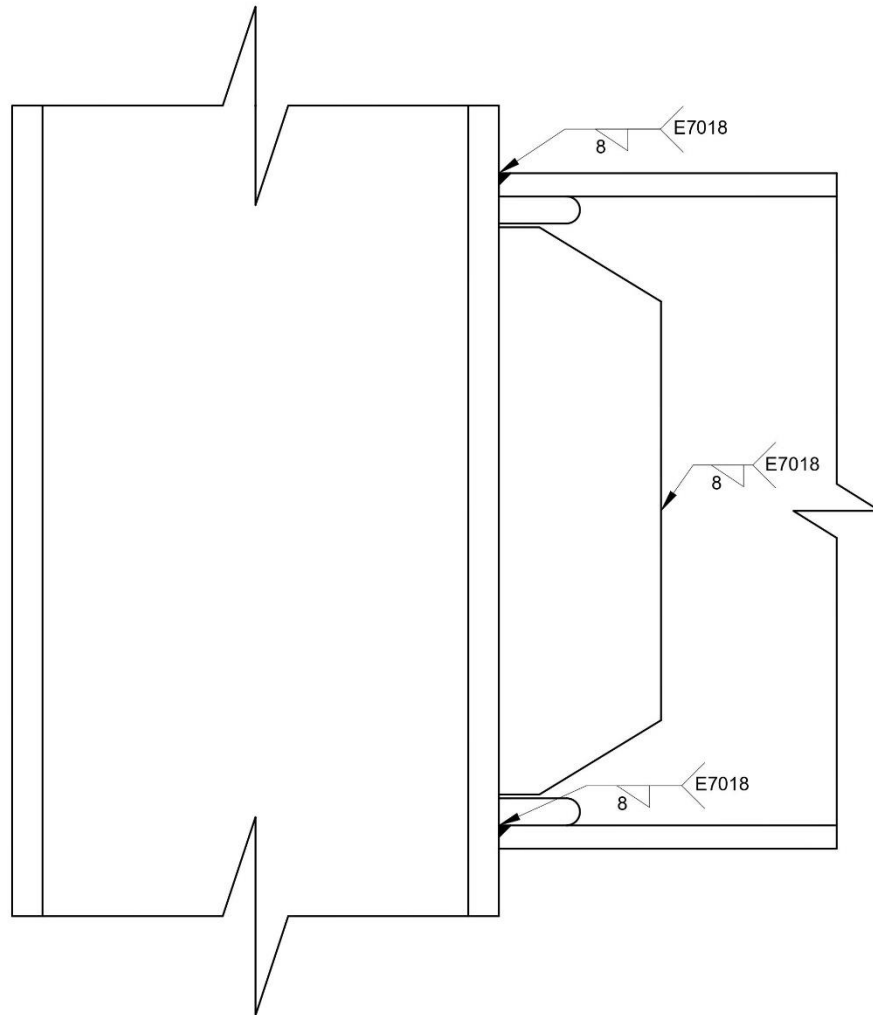
csecuador@indura.net

Centro Servicio al Cliente: 1800 – 463872

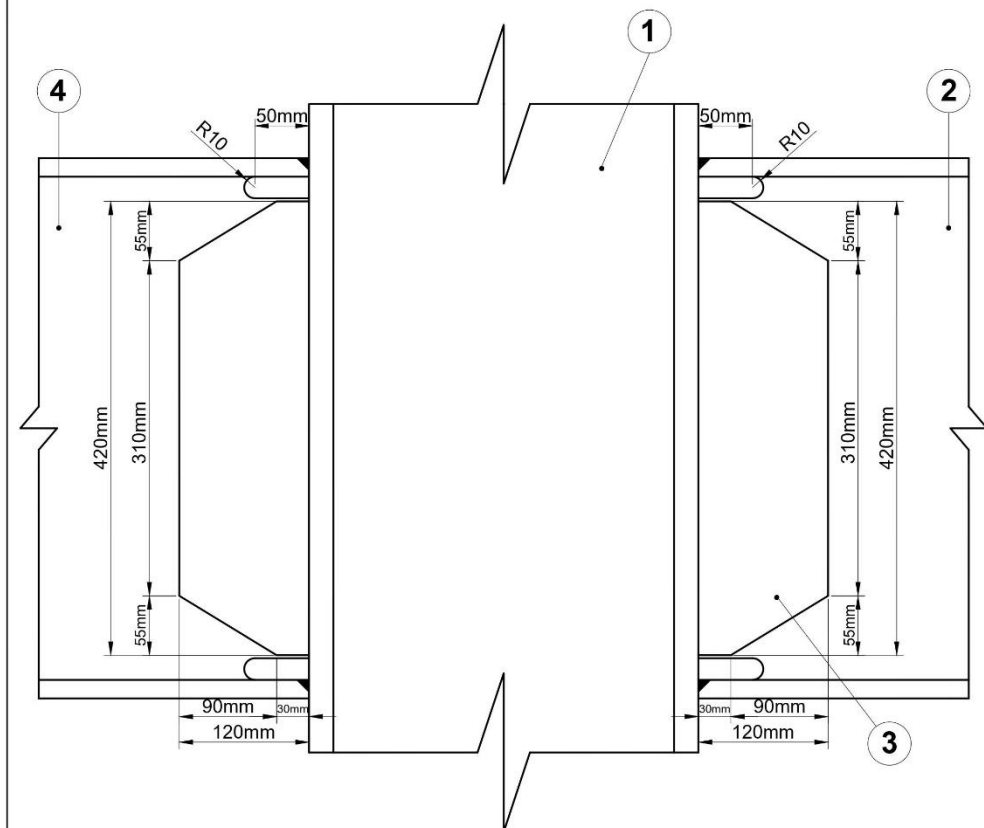
Matriz: 042-2597610  
Oficinas administrativas: 04-3729650



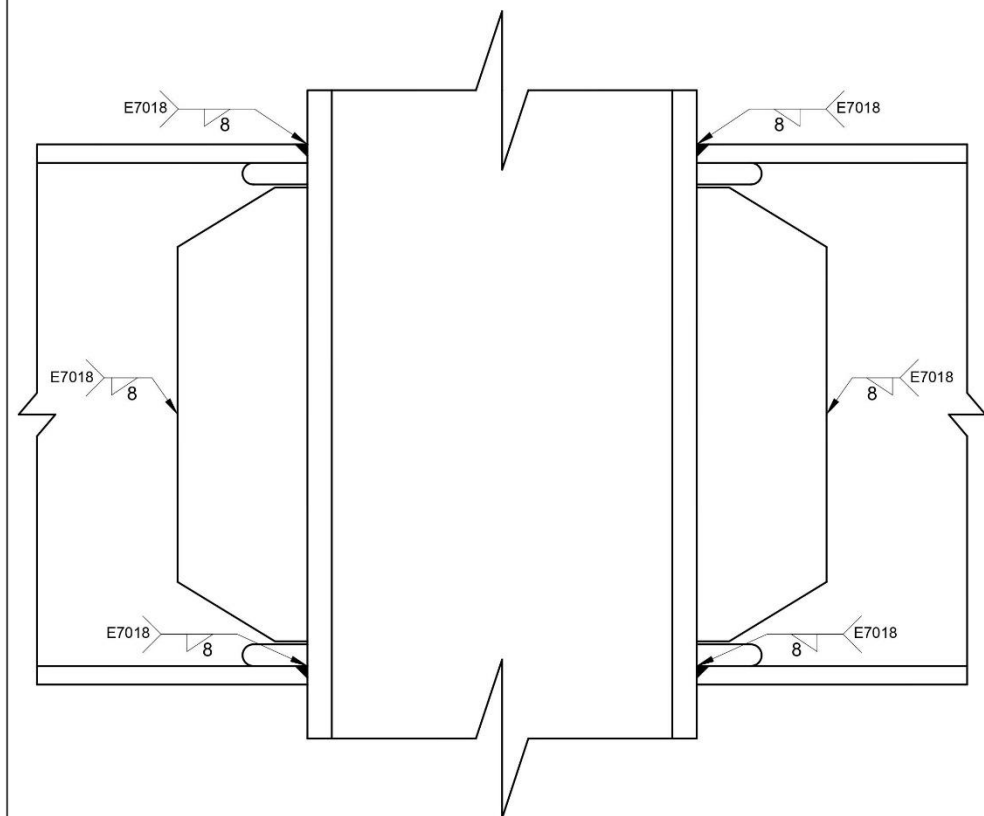
3	Placa de sujeción	1	ASTM A-36	N/A	N/A
2	Perfil IPE 450	1	ASTM A-36	N/A	N/A
1	Perfil HEB 360	1	ASTM A-36	N/A	N/A
Pos.	Denominación	Cant.	Material/Tipo	Dim. brutas	Observaciones
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		<b>U.P.S.</b>	Diseño:	John Bautista, Bryan Chávez	30/06/2021
			Dibujo:	John Bautista, Bryan Chávez	22/07/2021
			Revisa:	Ing. Nancy Moreno	23/07/2021
Detalle conexión de borde		Escala: 1:4	2021.07.01		Tol. Gen. ± 0.02



CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	<b>U.P.S.</b>	Diseño:	John Bautista, Bryan Chávez	30/06/2021
		Dibujo:	John Bautista, Bryan Chávez	22/07/2021
		Revisa:	Ing. Nancy Moreno	23/07/2021
Detalle conexión de borde	Escala: 1:4	2021.07.02		Tol. Gen. ± 0.02



4	Perfil IPE 450	1	ASTM A-36	N/A	N/A
3	Placa de sujeción	1	ASTM A-36	N/A	N/A
2	Perfil IPE 450	1	ASTM A-36	N/A	N/A
1	Perfil HEB 360	1	ASTM A-36	N/A	N/A
Pos.	Denominación	Cant.	Material/Tipo	Dim. brutas	Observaciones
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		<b>U.P.S.</b>	Diseño:	John Bautista, Bryan Chávez	30/06/2021
			Dibujo:	John Bautista, Bryan Chávez	22/07/2021
			Revisa:	Ing. Nancy Moreno	23/07/2021
Detalle conexión interna		Escala: 1:5	2021.07.03		Tol. Gen. ± 0.02



CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	<b>U.P.S.</b>	Diseño:	John Bautista, Bryan Chávez	30/06/2021
		Dibujo:	John Bautista, Bryan Chávez	22/07/2021
		Revisa:	Ing. Nancy Moreno	23/07/2021
Detalle conexión interna	Escala: 1:4	2021.07.04		Tol. Gen. ± 0.02